

VŠB -Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování – 340

Návrh metodiky preventivní a produktivní údržby
pístového kompresoru

*Design of Preventive and Productive Maintenance Methodology
of Piston Compressor*

Student:

Bc. Milan Gurský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Milan Gurský

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace:

72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Návrh metodiky preventivní a produktivní údržby pístového kompresoru

**Design of Preventive and Productive Maintenance Methodology of
Piston Compressor**

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele proveďte posouzení současného stavu sledování pístových kompresorů vybraného provozu z pohledu technické diagnostiky a dále zpracujte návrh vhodných změn, které povedou k prodloužení životnosti a zvýšení provozní spolehlivosti sledovaných zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši k problematice mazání pístových kompresorů.
2. Vyhodnocení současného stavu v provozu sledovaných zařízení na základě informací o provozních podmínkách, konstrukci a způsobech mazání, dostupných měření, protokolů o provedených kontrolách a nápravných opatřeních.
3. Návrh metodiky preventivní, prediktivní a proaktivní údržby na základě vlastních analýz s použitím metod multiparametrické diagnostiky.
4. Závěrečné vyhodnocení přínosu navrhované metodiky údržby s ohledem na ekonomické výsledky provozu, včetně návrhu inspekčních formulářů a postupů.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost IV - Provoz a údržba strojů*. 1. vydání, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 2008, 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970. 381 s. 04-010-70.

BLAŠKOVIC, P., BALLA, J., DZIMKO, M. *Tribológia*. 1. vydání, Bratislava : Alfa - Edícia strojárskiej literatúry, 1990. 360 s.

NOVOTNÝ, V., LIŠKA, A. *Údržba a opravy pístových a rotačních kompresorů*. 2. přeprac. vydání, Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1964. 260 s.

Firemní podklady společností: TRIFOSERVIS Vladislav Marek, ŠPONDŘ CMS, spol. s r.o.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Rozsah práce min. 45 stran textu mimo přílohy

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



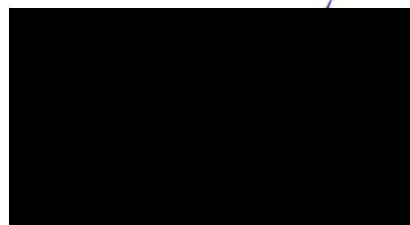
doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22. 05. 2011



Bc. Gurský Milan

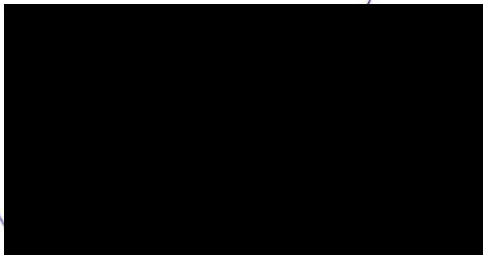
Gorlická 16

085 01 Bardejov, SR

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

- V Ostravě 22. 05. 2011



Bc. Gurský Milan

Gorlická 16

085 01 Bardejov, SR

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

GURSKÝ, M.: Návrh metodiky preventivní a produktivní údržby pístového kompresoru: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 69 stran. Vedoucí diplomové práce: Hrabec, L.

Diplomová práce se zabývá posouzením současného stavu sledovaných pístových kompresorů vybraného provozu z pohledu technické diagnostiky. Analýza současného stavu je provedena na podkladě všech dostupných informací o provozních podmínkách a současném způsobu mazání, z protokolů o provedených kontrolách a následných nápravných opatření i z výsledků provedených měření. Na základě této analýzy je navržena metodika preventivní prediktivní a proaktivní údržby pro zlepšení provozní spolehlivosti a prodloužení životnosti pístových kompresorů. Závěr práce je věnován vyhodnocení přínosu navrhované metodiky údržby s ohledem na ekonomické výsledky provozu včetně návrhu inspekčních formulářů a postupů.

ANNOTATION OF DIPLOMA WORK

GURSKÝ, M. Design of Preventive and Productive Maintenance Methodology of Piston Compressor: Diploma work. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 69 pages. Head of Diploma work: Hrabec, L.

Diploma work deals with assessing the current state of the monitored operation of piston compressors selected from the viewpoint of technical diagnostics. Analysis of the current state is based on all available information of the current operating conditions and the lubrication, the reports, the inspections and subsequent corrective actions according to the results of the measurements. According to this analysis, methodology of predictive, proactive and preventive maintenance is designed to improve operational reliability and service life of piston compressors. The end of the work is dedicated to evaluation of the benefits of the proposed method of maintenance with regard to the economic results of operations including the design of the inspection forms and procedures.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Hrabcovi, Ph.D., oponentovi diplomové práce RNDr. Ondřejovi Valentovi, CSc. a panu Vladislavu Markovi, technickému poradci a konzultantovi diplomové práce, za jejich pozitivní přístup, cenné rady a připomínky k této diplomové práci.

Děkuji Ing. Zdeňku Sorkovi a Ing. Martinu Holkovi PhD. za rady, připomínky a pomoc při shromažďování technických podkladů.

Děkuji všem svým učitelům i ostatním pracovníkům školy, zejména paní Ludmile Staňkové ze studijního oddělení, za cenné informace, pomoc a trpělivost, kteří byli mojí oporou po celou dobu mého studia na vysoké škole.

Zvláště chci poděkovat učiteli, který už není mezi námi, doc. Ing. Jiřímu Zieglerovi, CSc. za jeho laskavost, pomoc a ochotu v začátcích studií.

Děkuji svým kolegům z práce, pracovníkům CMMS, s.r.o., paní Slávce Valentové a panům, Petru Tesařovi, Janu Peškovi, za pomoc, pochopení a podporu po celou dobu mého studia.

Děkuji svým spolužákům paní Bc. Táni Šenkyříkové a pánu Ing. Jiřímu Thomkovi, že byly mojí oporou při studiích.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	3
ÚVOD	5
1 OBECNÝ ÚVOD K ÚDRŽBĚ PÍSTOVÝCH KOMPRESORŮ	6
1.1 VIBRODIAGNOSTIKA	6
1.2 LOŽISKA.....	11
1.2.1 Nejčastější poškození ložisek asynchronních motorů	12
1.3 HODNOCENÍ OLEJŮ A STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	15
1.3.1 Vyhodnocení průmyslových olejů.....	15
1.3.2 Zpráva o rozboru oleje.....	15
1.3.3 Doporučené četnosti odběrů vzorků oleje	16
1.3.4 Potenciální zdroje stanovených prvků	16
1.3.5 Pojmy pro hodnocení stavu sledovaného zařízení.....	16
1.4 VLIV ZNEČIŠTĚNÍ NA ŽIVOTNOST STROJE.....	18
1.4.1 Snížení životnosti strojů a ložisek	18
1.4.2 Vznik a vážnost znečištění částicemi	19
1.4.3 Znečištění vodou a jeho následky	20
1.5 MONITOROVÁNÍ STAVU PÍSTOVÉHO KOMPRESORU	21
1.5.1 Preferované oblasti monitorování.....	21
1.5.2 Příklady monitorování z praxe	22
1.5.3 Shrnutí diagnostických metod pístových kompresorů.....	26
1.5.4 Příčiny neplánovaných prostojů kompresorů a jejich následky	27
1.5.5 Příklady opotřebení z praxe	27
1.5.6 Havárie stroje způsobená nevhodným mazáním	28
2 VYHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	30
2.1 PÍSTOVÝ KOMPRESOR.....	30
2.1.1 Technický popis.....	30
2.2 ANALÝZA ZPŮSOBOBU MAZÁNÍ.....	35
2.2.1 Současný způsob mazání	35
2.2.2 Audit mazání.....	35
2.2.3 Další nedostatky současného stavu mazání	38
2.2.4 Analýza poruchovosti strojů.....	38
2.2.5 Ukázky závad nalezených při auditu	39
2.3 VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA PK 2512 G1/2.....	40
2.3.1 Měřicí místa na soustrojí pístového kompresoru.....	41
2.3.2 Trendování celkových hodnot vibrací pístového kompresoru 2512 G1/2	43
2.3.3 Spektrální analýza pístového kompresoru 2512 G1/2.....	45
2.4 OPATŘENÍ ZAVEDENÁ NA ZÁKLADĚ PROVEDENÉHO AUDITU.....	47
2.4.1 Vzorkovací místa oleje kompresoru	47
2.4.2 Skladování a dolévání oleje.....	48
2.4.3 Čištění olejové nádrže bypassovou filtrací.....	49
2.4.4 Dýchání olejové nádrže	54
2.5 VÝSLEDKY PO ZAVEDENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ.....	54

3	NÁVRH METODIKY ÚDRŽBY	56
3.1	OBSLUHA KOMPRESORU BĚHEM PROVOZU	56
3.1.1	Všeobecná obsluha kompresoru	56
3.1.2	Běžná denní obsluha kompresoru	56
3.2	NÁVRH INSPEKČNÍCH FORMULÁŘŮ A POSTUPŮ	59
3.3	ROZVRH MĚŘENÍ A KONTROLY PROVOZU	61
3.3.1	Údaje sledované obsluhou na zařízení (místní měření)	61
3.3.2	Protokoly o provedených kontrolách	61
3.3.3	Odběry vzorků	62
3.3.4	Odběry olejových vzorků	62
3.3.5	Předepsané oleje pro kompresory	62
3.3.6	Chladicí kapalina	62
4	VYHODNOCENÍ PŘÍNOSU NAVRŽENÉ METODIKY	63
4.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
4.1.1	Havárie kompresoru	63
4.1.2	Náklady spojené s údržbou kompresoru	63
4.1.3	Náklady na navržená opatření	64
4.1.4	Odhadnutý ekonomický přínos na jeden kompresor za 10 let	65
4.1.5	Odhadnutý celkový ekonomický přínos	65
5	ZÁVĚR	66
	POUŽITÁ LITERATURA	68
	SEZNAM PŘÍLOH	69

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

POUŽITÉ VÝRAZY A ZKRATKY

Výraz	Význam
ACC	zrychlení
AES	atomová emisní spektrofotometrie
aj.	a jiné
Anlage	zařízení
API	/American Petroleum Institute/ - Národní obchodní asociace USA pro petrolejářský průmysl
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
Auftrag	zakázka
Caterpillar	firma
CMMS	firma
CZK	česká měna (Kč)
č.	číslo
ČSN	Česká technická norma
DCS	Řídicí systém pro automatické získávání dat z výroby, data jsou získávána a zpracována v reálném čase
ENV	/Envelope Spectrum/ - obálkové spektrum
EP	/Extreme pressure/ - zušlechtěné oleje s vysokotlakou (protiotěrovou) přísadou
FFT	/Fast Fourier Transform/ - rychlá Fourierova transformace
HFD	/High Frequency Detection/ - detekce vysokofrekvenčních složek
ISO	/International Standard Organization/ - Mezinárodní organizace pro normalizaci
Kč	koruna česká
KOH	hydroxid draselný
konst.	konstantní, stálý, stejný
L1H - L9H	označení ložiska č. 1 až č. 9 horizontální směr
L1V - L9V	označení ložiska č. 1 až č. 9 vertikální směr
L2A - L9A	označení ložiska č. 2 až č. 9 axiální směr
LEF	/Life Extension Factor/ - faktor prodloužení životnosti
LEM	metody prodloužení životnosti
MaR	měření a regulace

max.	maximální
např.	například
NAS	/National of American Standards/ - Americký národní standardizační institut
OEM	/Original Equipment Manufacturer/ - obchodní termín, který označuje výrobce, který výrobky jiných výrobců prodává pod svou vlastní značkou
online	/on-line/ - přímo spojený
overall	měření celkových vibrací
PK	pístový kompresor
PS	převodová skříň
RMS	/Root Mean Square/ - efektivní hodnota
SAE	/Society of Automotive Engineers/ – rozdělení motorových a převodových automobilových olejů do viskozitních tříd
SEE	akustická emise
Shell	firma
SKF	firma
SM	směnový manažer
SO	střední oprava
TAN	/Total Acid Number/ - celková kyselost
TBN	/Total Base Number/ - celková alkalita
tj.	to je
TPM	totálně produktivní údržba
TRW	firma - divize ložisek
tz.	to znamená
tzv.	takzvaný
vč.	včetně
VEL	/velocity/ - rychlost
VI	viskozitní index
viz	je rozkazovací způsob slovesa vidět (synonymum: hled', podívej se)
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ÚVOD

Současný tlak konkurenčního prostředí a snaha o úspěšnost firmy na trhu vede k neustálému hledání nových způsobů jak snižovat výrobní náklady. Jednou z možností, značných úspor finančních prostředků je zavedení produktivní údržby strojů v podniku. Mluvíme-li o produktivní údržbě, máme na mysli především proaktivní přístup k této problematice.

Základní myšlenka proaktivního způsobu údržby spočívá v přechodu údržby ze stadia „hašení požáru“ do stavu, kdy se sleduje a vyhodnocuje technická kondice zařízení a provádí se takové zásahy, které vzniku poškození zabraňují nebo jej alespoň oddalují. To umožní, aby plánovaná údržba byla proaktivně načasovaná a tím i efektivnější. Odpadnou tak zbytečné a příliš brzy navrhnuté preventivní opravy, nepotřebné generální opravy, ale především neplánované odstávky. Můžeme tímto přístupem omezit i nadbytečný inventář náhradních dílů. Proaktivní přístup k údržbě oproti ostatním údržbářským postupům může snížit náklady na opravy až na desetinu původních nákladů. Při dodržení plynulosti a správného chodu všech takto udržovaných strojů.

Cílem této diplomové práce je návrh metodiky preventivní, produktivní a proaktivní údržby pístového kompresoru.

V počátku mé práce bude provedena podrobná rešerše týkající se problematiky mazání pístových kompresorů. Rešerše bude obsahovat popis pojmů technické diagnostiky a vibrodiagnostiky, ale především velmi důležité informace týkající se ložisek, mazání strojů, vlivu znečištění na životnost stroje a příklady opotřebení částí kompresorů z praxe.

Následující část práce bude věnována popisu a vyhodnocení současného stavu sledovaných zařízení na základě všech dostupných informací o provozních podmínkách a současném způsobu mazání, z protokolů o provedených kontrolách a následných nápravných opatření i z výsledků provedených měření.

V další pasáži bude na základě takto provedené analýzy navržená metodika preventivní prediktivní údržby pro bezporuchový provoz pístových kompresorů.



Závěr práce bude věnován vyhodnocení přínosu navrhované metodiky údržby s ohledem na ekonomické výsledky provozu včetně návrhu inspekčních formulářů a postupů.

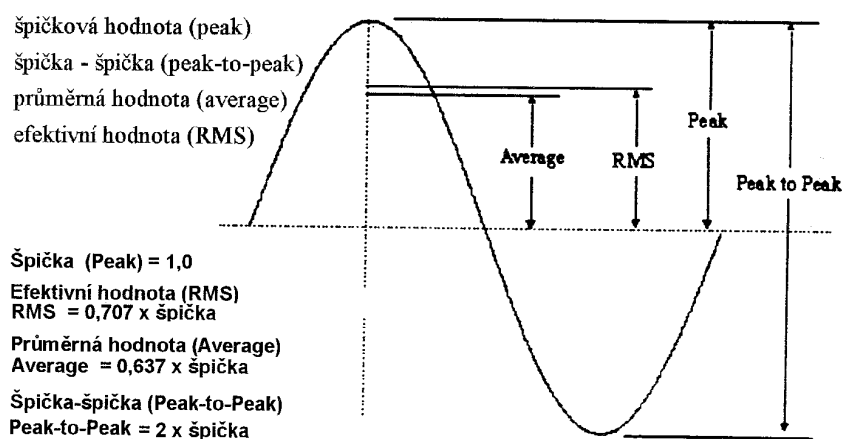
1 OBECNÝ ÚVOD K ÚDRŽBĚ PÍSTOVÝCH KOMPRESORŮ

1.1 VIBRODIAGNOSTIKA

Vibrace

Vibrace jsou projevem chování mechanických částí stroje, kterým reagují na působení vnitřních a vnějších sil. Při analýze vibračního signálu je pro nás nejdůležitější:

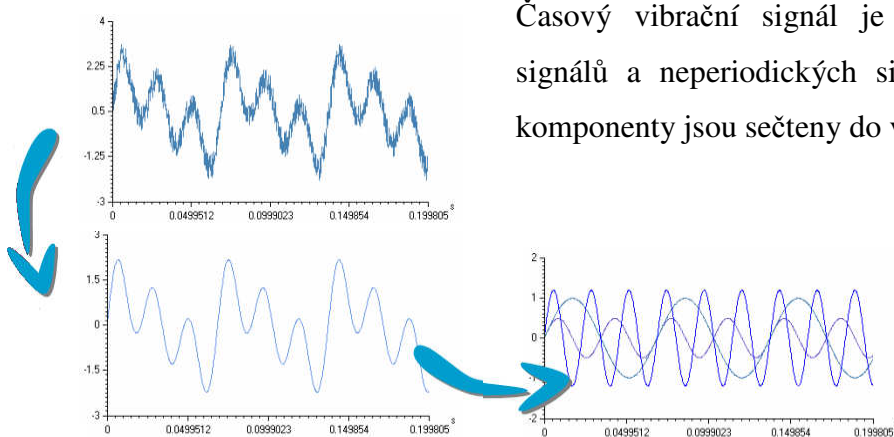
-  amplituda (velikost vibračního signálu)
-  frekvence (kmitočet, četnost jevu v daném časovém úseku. Jev - jeden vibrační cyklus.)



Obrázek 1 – Vyjádření amplitudy sinusového signálu [13]

RMS – odvozená matematicky. Je porovnáním energií, z hlediska vibračního signálu se jedná o druhou odmocninu součtu čtverců okamžitých hodnot.

Všechny výše uvedené definice a principy platí pro čistý sinusový signál. Ve skutečnosti jsou vibrace extrémně komplexní, skládají se z mnoha signálů různého původu a jsou modulovány množstvím parametrů, ale i tyto komplexní vibrace mohou být považovány za směs čistě sinusových základních komponentů. **Časově – frekvenční transformace** nebo **Fourierova transformace** je jedním nástrojem pro tento jev.

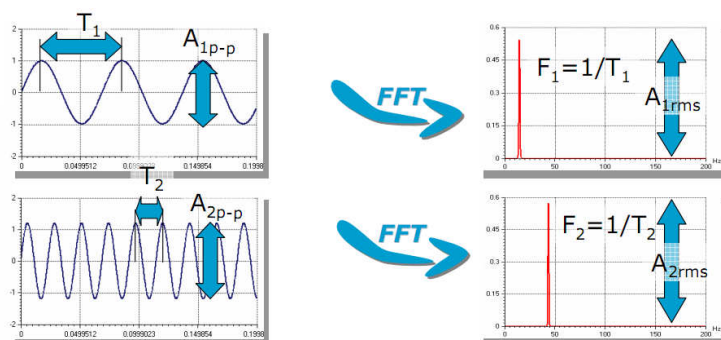


Obrázek 2 – Příklad složeného a rozloženého komplexního signálu [15]

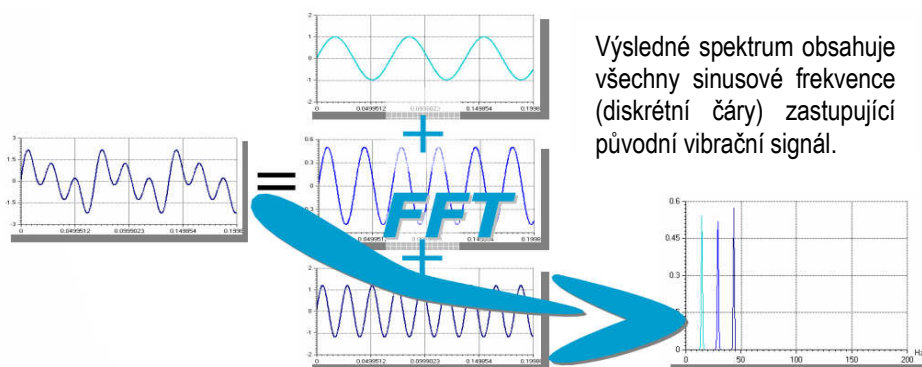
Fourierova transformace

Tato matematická funkce poskytuje přeložení **signálu s časovou doménou** do **frekvenční domény**. Takto získaná reprezentace signálu se nazývá frekvenční spektrum.

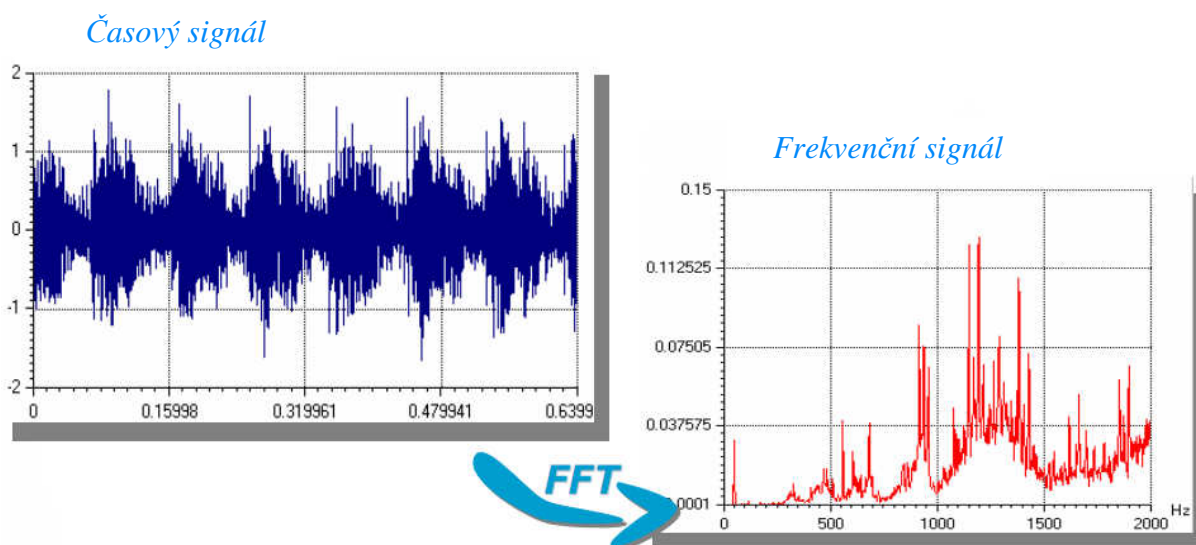
Fourierova transformace je implementována do dnešních spektrálních analyzátorů jako FFT (*Fast Fourier Transform* – rychlá Fourierova transformace).



Obrázek 3 - Převod FFT časového signálu na frekvenční spektrum, čistý sinusový signál [15]



Obrázek 4 - Převod FFT časového signálu na frekvenční spektrum – komplexní signál [15]



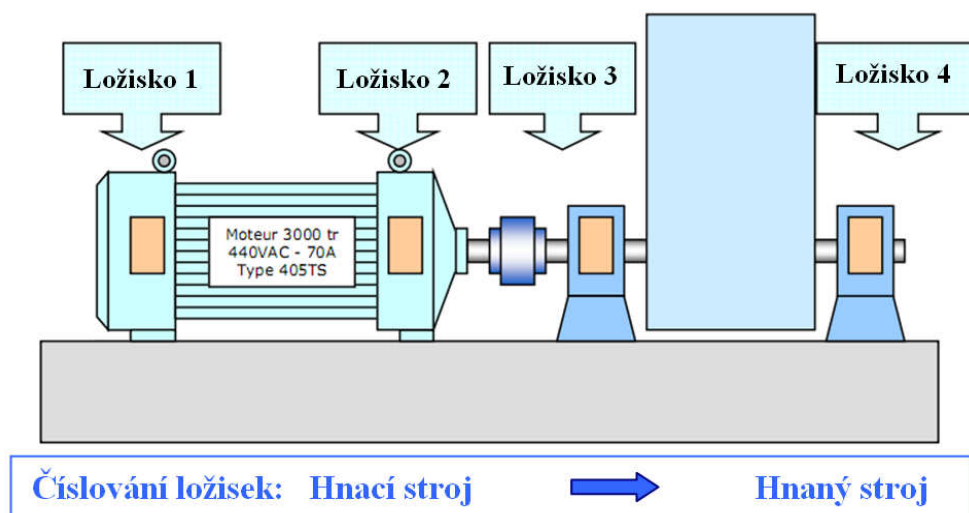
Obrázek 5 - Převod FFT reálného časového signálu na frekvenční spektrum [15]

Standardní metody k měření vibrací

- ✚ Měření celkových vibrací (*overall*)
- ✚ Měření fáze
- ✚ Obálkování zrychlení
- ✚ Metoda SEE (*akustická emise*)
- ✚ Vysokofrekvenční detekce (*HFD*)
- ✚ Jiné rezonanční metody (*Sensor Resonant Technologies*)

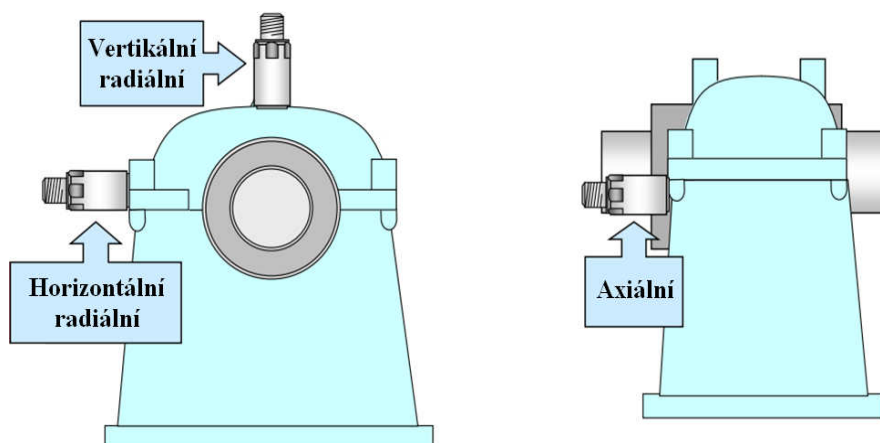
Optimální měřicí podmínky

- ✚ Měření za chodu stroje při provozním zatížení na stejných měřicích bodech
- ✚ Výběr měřicích bodů (NE – lakovaný povrch, nezatížené zóny, dělicí roviny, konstrukční mezery)
- ✚ Přítlak sondy (pokaždé stejný)
- ✚ Uhel sklonu sondy (kolmý k povrchu $90^\circ \pm 10^\circ$)
- ✚ Poloha sondy (H – horizontál, V – vertikál, A – axial)



Obrázek 6 - Umístnění měřicích bodů [15]

Směry měřicích bodů



Obrázek 7 - Umístnění snímačů - směry měřicích bodů pro akcelerometr [15]

Monitorování strojů

Existují dva základní typy monitorování:

- ✚ Nepřetržité monitorování
- ✚ Periodické monitorování

Typ monitorování závisí na tom, jakou úlohu hraje stroj ve výrobním procesu, na možnostech jeho údržby a důsledcích způsobených jeho havárií z pohledu bezpečnosti i zájmů podniku. Strategický, složitý, velmi drahý a namáhaný stroj, na jehož správném fungování je závislý chod a bezpečnost celého provozu, bude nutné monitorovat nepřetržitě. Naproti tomu elektromotor pohánějící ventilátor, lze monitorovat pouze v daném intervalu.

Parametry monitorování

Parametry monitorování jsou definovány v databázi. Určují:

- ✚ Charakteristiku signálu, který bude měřen \Rightarrow Snímač, měřenou velikost vibrací
- ✚ Formát sběru dat \Rightarrow Časový záznam, spektrum, násobky, obálka
- ✚ Charakteristiku sběru dat \Rightarrow Frekvence, velikost bloku, okénkování aj.
- ✚ Povahu a charakteristiku informací vybraných ze sběru

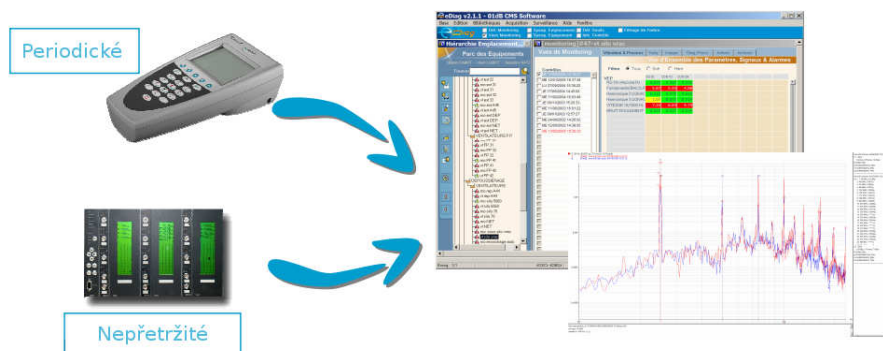
Monitorovací přístroje

Online nebo pochůzkové přístroje poskytují následující funkce:

- ✚ Správa snímače: napájení, sledování spojení (kabelu), filtry
- ✚ Filtrování (analogové a/nebo digitální)
- ✚ Zesílení
- ✚ Digitalizace
- ✚ Uložení
- ✚ Specifické zpracování: integrace, výpočet energie, FFT, detekce špiček ap.
- ✚ Porovnání s předurčenými prahy pro případ poplachů (online systémy)

Propojení přístrojů

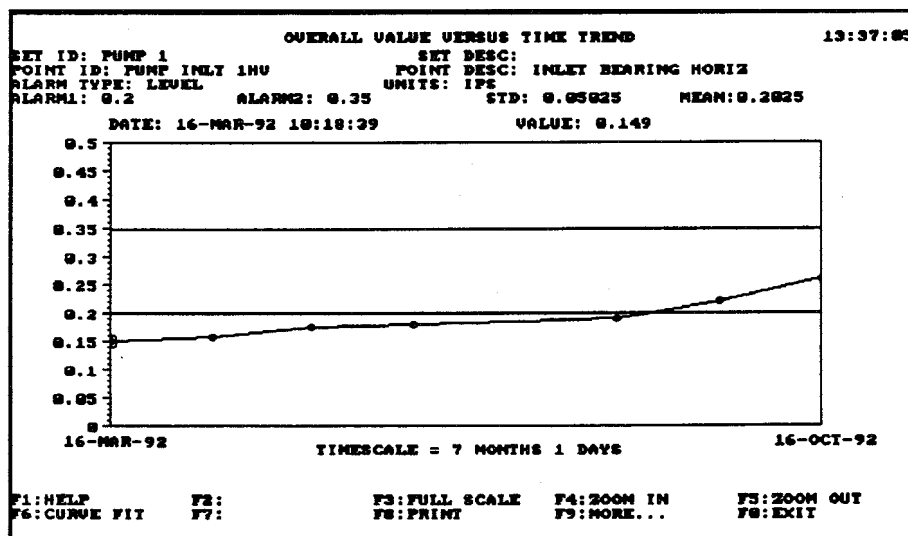
Vibrační a procesní data můžou být uloženy, zpracovány a zobrazeny pomocí specifického aplikačního softwaru, jako např. **CMMS Proactinance**.



Obrázek 8 - Náčrt procesu zpracování dat (přístroj \Rightarrow databáze \Rightarrow spektrum) [15]

Trendová analýza

Analýza časové historie monitorovacích parametrů poskytuje v diagnostice neocenitelné informace. Slouží pro porovnávání, zhodnocení, sledování vývoje technického stavu sledovaného stroje.



Obrázek 9 - Reálný graf trendu [13]

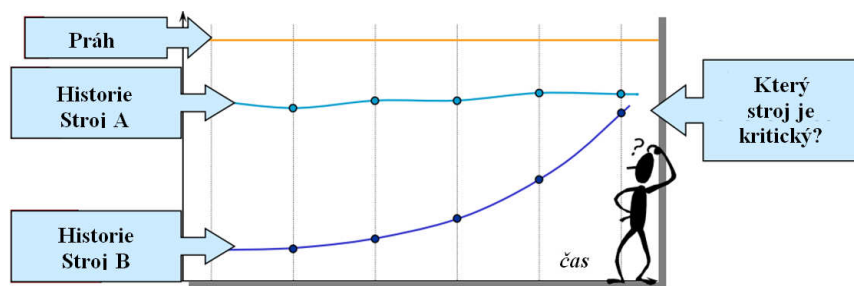
Pro posouzení stavu stroje je nutné stanovit tzv. prahy bezpečnosti. Obvykle existují dva předdefinované prahy.

Práh výstrahy

Indikuje, že došlo k významné změně. Stroj obvykle může zůstat v provozu během fáze analýzy problému.

Práh nebezpečí (nebo práh spouštěče)

Úroveň, za kterou další provoz stroje může způsobit poškození. Je potřebné, aby se provoz zaměřil na snížení vibrace nebo zastavení stroje.



Obrázek 10 - Příklad grafu trendu (Stroj B je kritický) [15]

Vymezení prahů

- z norem: ISO – API
- z doporučení výrobce
- z referenčního stavu: Hodnoty prahů jsou odvozeny z hodnot parametrů získaných v čase, když stav zařízení byl odhadován jako uspokojující. Metoda odvození závisí na typu stroje a hodně spoléhá na zkušenostech uživatele.

1.2 LOŽISKA

Mezi nejdůležitější části většiny strojů patří ložiska. Na jejich únosnost a spolehlivost jsou kladené velké nároky. Na základě dlouholetého výzkumu ložisek dokážeme vypočítat jejich trvanlivost se značnou přesností. Stává se, že ložisko nedosáhne základní trvanlivosti. Může to být z mnoha důvodů. Např. přetížením, nevhodným mazáním, špatným těsněním, velkým přesahem, neodbornou montáží, špatnou péčí o zařízení. Všechny tyto faktory vyvolávají určitý druh poškození, které zanechává svou stopu na ložisku. Prohlídkou ložiska je možné usuzovat na příčinu poškození a pak provést opatření proti opětovnému výskytu. Poškození ložiska zpočátku není vidět pouhým okem. Pokročilé poškození se projevuje malými, mělkými trhlinami, které jsou mikroskopické a velmi rychle se zvětšují. [12]

Druhy poškození ložisek

- **Opotřebení** (způsobené abrazivními částicemi, nedostatečným mazáním, vibracemi)
- **Vtisky** (způsobené chybnou montáží nebo předpětím, cizími částicemi)
- **Oděr** (čel valivých těles a vodicích přírub, prokluzu oběžných drah apod.)
- **Poškození povrchu** (hloubková koroze, styková koroze)
- **Poškození způsobené průchodem elektrického proudu**
- **Odlupování způsobené přetížením** (oválnou deformací, axiálním přetížením apod.)
- **Trhliny** (způsobené hrubým zacházením, nadměrným nasunutím na kužel apod.)
- **Poškození klece**

Trvanlivost ložisek

Doba do projevu prvních známek únavy je dána počtem otáček ložiska a jeho zatížením. Únava je výsledkem smykových namáhání. Časem tato namáhání způsobí trhliny, které se postupně šíří až na povrch. Když se valivé elementy otáčejí přes trhliny, pak v tomto místě dochází k odlupování materiálu. Trhliny se časem zvětšují, až dojde k havárii ložiska. Odlupování je dlouhodobý proces, který se projevuje hlučností a vibracemi v ložisku.

Stopy chodu a jejich interpretace

Valivé ložisko při otáčení pod zatížením se kontaktní povrchy valivých elementů a oběžných drah stávají na pohled matnými. Matné plochy nazýváme stopou chodu. Rozpoznáním rozdílů mezi normální a abnormální stopou chodu vede k odhadu, v jakých podmínkách ložisko pracuje. Poškození ložiska většinou začíná uvnitř hranic stopy chodu.

Poznámka 1) V této kapitole a podkapitolách mi byla velice nápomocná literatura SKF [12].

1.2.1 Nejčastější poškození ložisek asynchronních motorů

Poškození způsobené přetížením

- ✚ **Vzhled:** Stopa chodu je silně vyznačená na oběžných drahách obou kroužku. Odlupování nastává v nejvíce zatížené oblasti.
- ✚ **Opatření:** Zkontrolovat přesah nebo použít ložisko s větší vůlí. Montáži ložiska na kuželový čep je zapotřebí se řídit instrukcemi výrobce ložiska a technologií montáže. Pro ložiska s předpětím používat momentový klíč a pro záběh ložiska dodržovat technologické postupy záběhu. Při teplotních rozdílech mezi vnitřním a vnějším kroužkem použít ložisko s větší vůlí.[12]



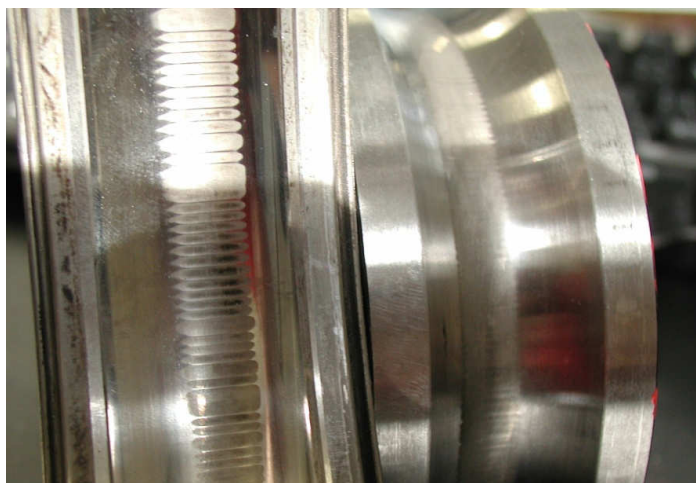
Obrázek 11 - Poškození vnějšího kroužku od přetížení

Poškození způsobené průchodem elektrického proudu

Elektrický proud prochází ložiskem, z jednoho kroužku na druhý přes valivé elementy. Na plochách v místě kontaktu nastává proces, jako při svařování elektrickým obloukem. Materiál se zahřívá a vznikají zabarvené oblasti různých velikostí, kde je materiál popouštěn, překalen nebo roztaven. Malé jamky se tvoří tam, kde byl materiál roztaven.

- ✚ **Vzhled:** Tmavě hnědé, šedočerné drážkování nebo jamky na valivých tělesech a oběžných drahách vzniklé průchodem elektrického proudu otáčejícím se ložiskem. Ohraničené vypáleniny na valivých tělesech a oběžných drahách vzniká průchodem elektrického proudu neotáčejícím se ložiskem.
- ✚ **Opatření:** Je nutné zavést vedení proudu mimo ložisko, u stojících zařízení je nutné při svařování použít uzemnění chránicí ložisko před průchodem elektrického proudu.

Jak rozeznat rozdíl mezi o poškození způsobené elektrickým proudem, nebo vibračním poškozením? Rýhování proudem má tmavé dno, vibrační rýhování má dno lesklé nebo rezavé. Další rozdíl je v rýhování způsobené vibracemi. Zde chybí poškození valivých těles. [12]



Obrázek 12 - Poškození ložiska způsobené průchodem elektrického proudu

Poškození způsobené vibracemi

- ✚ **Vzhled:** Na oběžných drahách se vyskytují vtisky. U ložisek s čárovým stykem jsou vtisky podlouhlé, u kuličkových ložisek kruhové. Dna vtisku jsou lesklá nebo rezavá.
- ✚ **Opatření:** Stojící zařízení během transportu zabezpečit radiálním předpětím, použít tlumící základy, když je to možné, tak použít kuličková ložiska místo ložisek s čárovým stykem tam kde je to možné, použít mazání v olejové lázni.



Ložisko, které se neotáčí, pak se v ložisku netvoří žádný mazivový film mezi oběžnými drahami a valivými elementy. To zapříčiňuje kontakt kovu na kov a vibrace způsobují malé vzájemné pohyby valivých elementů a kroužků. Zde pak dochází k vytrhávání malých částek z povrchu a tím k vytvoření důlků na oběžných drahách. [12]

Obrázek 13 - Poškození ložiska vibracemi

Styková koroze



- ✚ **Vzhled:** Na povrchu vnějšího a vnitřního kroužku jsou skvrny rzi, Stopa chodu na oběžných drahách je silně znatelná na místech stykové koroze.
- ✚ **Opatření:** Je zapotřebí provést úpravu souvisejících dílů. Malý přesah, nebo ložiskové těleso má chybný geometrický tvar.

Když proniknou oxidy mezi stykové plochy ložiskového tělesa a povrchu ložiska, pak oxidace postupuje hlouběji do materiálu. Výsledkem stykové koroze je, že ložiskové kroužky můžou být nerovnoměrně podepřeny a rozdělení zatížení v ložiskách je nerovnoměrné. Zkorodované povrchy fungují, jako lomové vruby. [12]



Obrázek 14 - Styková koroze

Nedostatečné mazání

-  **Vzhled:** Opotřebení se projevuje zrcadlovým vzhledem, později modrým až hnědým zabarvením.
-  **Opatření:** Zkontrolovat, zda mazivo se dostává k ložisku, změnit interval domazávání, a provést tribotechnickou analýzu mazacích vlastností maziva

Při nedostatku maziva, nebo když mazivo ztratilo své mazací vlastnosti, se nevytvoří dostatečně únosný olejový film. Pak dochází ke kontaktu kov na kov. V počátku se vytváří efekt jako při lapování. Mikroskopické nerovnosti jsou sraženy a zaválcují se. To dá povrchům určitý zrcadlový lesk. Vznikají první poškození povrchu. Při nedostatečném mazání nám stoupá teplota na ložisku, kalený materiál změní svou strukturu, měkne a povrch ložiska získá modrou až hnědou barvu. Pak následuje zadření ložiska. [12]



Obrázek 15 - Poškození ložiska nevhodným mazáním

1.3 HODNOCENÍ OLEJŮ A STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

1.3.1 Vyhodnocení průmyslových olejů

Základní diagnostické parametry (Tabulka 1) pro vyhodnocení kvality oleje [3]:

Tabulka 1 - Základní parametry pro vyhodnocení oleje[3]

kinematická viskozita:	změna	± 20	%	
číslo kyselosti:	max.	1 - 1,5	mg	KOH·g ⁻¹
obsah vody:	max.	0,2	%	hm.
látky nerozpustné v toluenu:	max.	1	%	hm.
obsah zadíracích nečistot:	nepřítomný			

1.3.2 Zpráva o rozboru oleje

MOGUL KOMPRESO K 100 a MOGUL Trans 90 H

Tabulka 2 - Vzorová tabulka rozboru oleje [4]

Jakostní ukazatelé	Jednotka	Naměřená hodnota	Zkušební metoda
Kinematická viskozita /40°C	mm ² ·s ⁻¹		ČSN 656216 ČSN EN ISO 3104
Bod vzplanutí	°C		ČSN EN ISO 2592
Číslo kyselosti	mg·KOH·g ⁻¹		ČSN ISO 6618
Obsah vody	mg·kg ⁻¹		ČSN EN ISO 12937
Stanovení zbytkových kovů Fe Cu Sn Pb	mg·kg ⁻¹ mg·kg ⁻¹ mg·kg ⁻¹ mg·kg ⁻¹		AAS
Mechanické nečistoty, kód ISO	kód		ČSN ISO 4406/87 ČSN ISO 4406/99
Mechanické nečistoty, kód NAS	kód		SAE AS4059 (NAS 1638)
Velikost nečistot (ISO 4406/87) > 5 μm > 15 μm > 30 μm	počet částic počet částic počet částic		
Velikost nečistot (ISO 4406/99) > 4 μm > 6 μm > 14 μm	počet částic počet částic počet částic		

1.3.3 Doporučené četnosti odběrů vzorků oleje

Tabulka 3 - Doporučená četnost odběrů vzorků oleje [4]

Stroj/typ zařízení	Hodiny/údobí
Převodovka	500
Ložiska – čep a valivé prvky	500 nebo měsíčně

1.3.4 Potenciální zdroje stanovených prvků

Prvky nalezené v oleji naznačují možné zdroje, odkud se do oleje mohly dostat.

Tabulka 4 - Určování potencionálních zdrojů nalezených prvků v oleji [4]

Prvek	Potenciální zdroje stanovených prvků
Ag stříbro	Pokovované plochy, plášť ložiska, elektrické kontakty
Al hliník	Píst z lehké slitiny/plášť. Ložisko. Hliníkový prach. Plastické mazivo.
B bór	Přísada do chladicí kapaliny, přísada do maziva
Ba barium	Přísada do oleje či maziva
Ca vápník	Přísada do oleje či maziva
Cd kadmium	Pokovované plochy
Cr chrom	Pokovované pístní kroužky, drážky, hřídel. Chromované oceli. Valivá ložiska. Inhibitory s obsahem chromu
Cu měď	Ložisko, plášť valivého ložiska, trubky výměňkového systému v chladiči. Plastická maziva a těsnicí prvky. Pokovovací kov
Fe železo	Obecné opotřebení, převody, kluzné povrchy, valivá ložiska, rez
Li lithium	Přísada do plastických maziv
Mg hořčík	Slitiny, mořská voda, přísady do maziv
Mo molybden	Povrchové úpravy (pístní kroužky), přísada do maziv (antifrikční)
Ni nikl	Niklové oceli, zbytkové palivo, ložiska, ventily a sedla ventilů, lopatky
Pb olovo	Ložisko z bílého kovu, olovnaté palivo, plastické mazivo
Sb antimon	Ložisko z bílého kovu. Plastické mazivo
Si křemík	Prach (v okruzích se vstupem vzduchu), přísady do maziv/paliv/těsnění.
Sn cín	Ložisko z bílého kovu, cínem pokovované písty, bronzové převody a plášť ložiska
Ti titan	Lopatky turbín, těsnění
V vanad	Zbytkové palivo, otočný prvek ložiska
W wolfram	Sedla ventilů, valivá ložiska

1.3.5 Pojmy pro hodnocení stavu sledovaného zařízení

Pro různá sledovaná zařízení jsou dány různé rozsahy referenčních hodnot, které pak slouží pro vyhodnocení stavu zařízení. Taktéž jsou dohodnuty následující pojmy, kterými je popisován aktuální stav stroje a mají tento význam [4]:

Normální: Všechny záznamy v daném rozsahu znamenají, že opotřebení mazaných součástí je vyhovující. Udržujte doporučený interval vzorkování.

Lehce zvýšený: Záznam v tomto rozsahu mohou indikovat první signály abnormálního

opotřebení a lze požadovat podrobnější sledování, zda je trend narůstající. Udržujte doporučený interval vzorkování.

Zvýšený: Záznam v tomto rozsahu indikuje abnormální opotřebení mazaných součástí. Při první indikaci v tomto rozsahu není třeba nutně doporučovat generální opravu nebo odstavení. Opakované záznamy v krátkém časovém intervalu vzorkování může vést k doporučení vykonat na zařízení některé strojní kontroly. Zkraťte interval vzorkování pro sledování opotřebení.

Vysoký: V tomto rozsahu je indikováno pokročilé opotřebení. Musí být provedena lokalizace součástí, které selhávají. Doporučuje se okamžité převzorkování, aby byl stav potvrzen. Zákazníkovi je nutné ihned sdělit stav, buď přímo, nebo prostřednictvím servisní organizace. Hodnoty jsou uvedené v tabulkách (Tabulka 5 a Tabulka 6).

Převodovky

Tabulka 5 - Referenční hodnoty nalezených prvků v oleji pro vyhodnocení oleje převodovky[4]

PPM/Interval 500 h						
Kov		Možný zdroj	stav			
			normální	lehce zvýšený	zvýšený	vysoký
Železo	Fe	Převod, ložiska, distanční tělíska	0 – 60	61 – 100	101 – 180	> 180
Chrom	Cr	Ložiska	0 – 2	3 – 6	7 – 10	> 10
Olovo	Pb	Přítlačné podložky, třecí disky	0 – 8	9 – 15	16 – 20	> 20
Měď	Cu	Přítlačné podložky, třecí disky	0 – 70	71 – 120	121 – 200	> 200
Cín	Sn	Přítlačné podložky	0 – 6	7 – 12	13 – 18	> 18
Hliník	Al	Stator/oběžné kolo konvertoru, pouzdro	0 – 4	5 – 10	11 – 15	> 15
Křemík	Si	Nečistoty	0 – 20	21 – 30	31 – 40	> 40
Sodík	Na	Sůl, možné přísady	0 - 30	31 – 50	51 – 80	> 80

Rozsah hodnot distribuce částic podle kódu čistoty ISO 4406

Tabulka 6 - Referenční hodnoty nalezených částic v oleji pro vyhodnocení oleje [4]

Typ zařízení	Nízký		Střední		Zvýšený		Vysoký		Velmi vysoký	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hydraulika a ložiska	08-10	12-15	13-15	14-17	15-17	16-19	17-19	19-22	20-22	>25
Vznětové motory a převodovky	10-13	12-15	13-15	14-17	15-17	17-20	18-20	20-23	21-23	>25
Převody a reduktory	12-15	13-16	14-16	15-18	16-18	18-21	19-21	21-24	22-24	>25

1.4 VLIV ZNEČIŠTĚNÍ NA ŽIVOTNOST STROJE

Co říká průmysl o kontaminaci [10]:

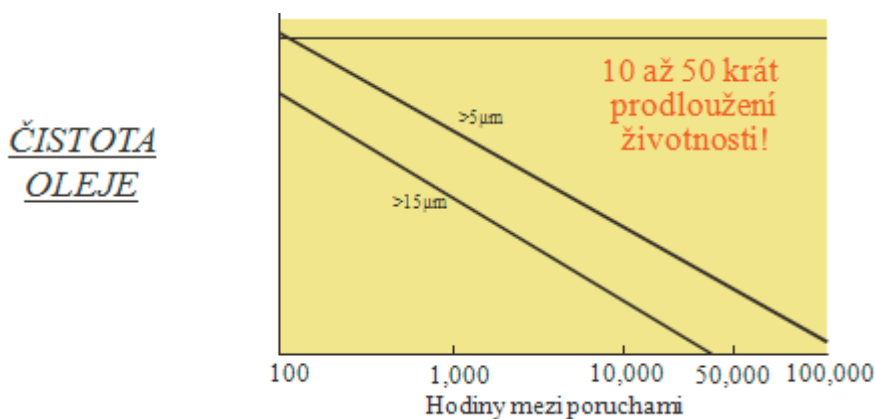
- ✚ Podle divize ložisek TRW, „kontaminace je číslo jedna pro poškození ložisek, které předčasně...“
- ✚ Podle Caterpillaru, „špína a znečištění jsou příčinou poruch číslo jedna hydraulických...“

Znečištění má dramatický vliv na životnost stroje. Typické jsou změny životnosti z roků na měsíce. V následujících grafech ukazujeme tyto změny [10].

1.4.1 Snížení životnosti strojů a ložisek

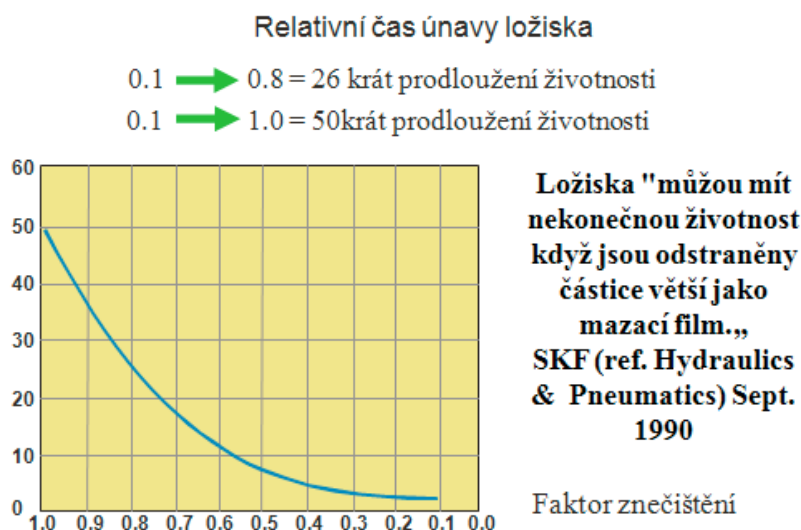
Výzkum znečištění hydraulických systémů

(Obrázek 16) ukazuje, že při změně filtrů z 15 μ m na 5 μ m, životnost se prodlouží 5-10x.



Obrázek 16 - Výzkum znečištění hydraulických systémů [10]

Závislost životnosti nových ložisek na znečištění dle SKF (Obrázek 17)



Obrázek 17 - Závislost životnosti nových ložisek na znečištění dle SKF [10]

Metody prodloužení životnosti (LEM) – valivá ložiska (Obrázek 18).

Faktor prodloužení životnosti Life Extension Factor (LEF)

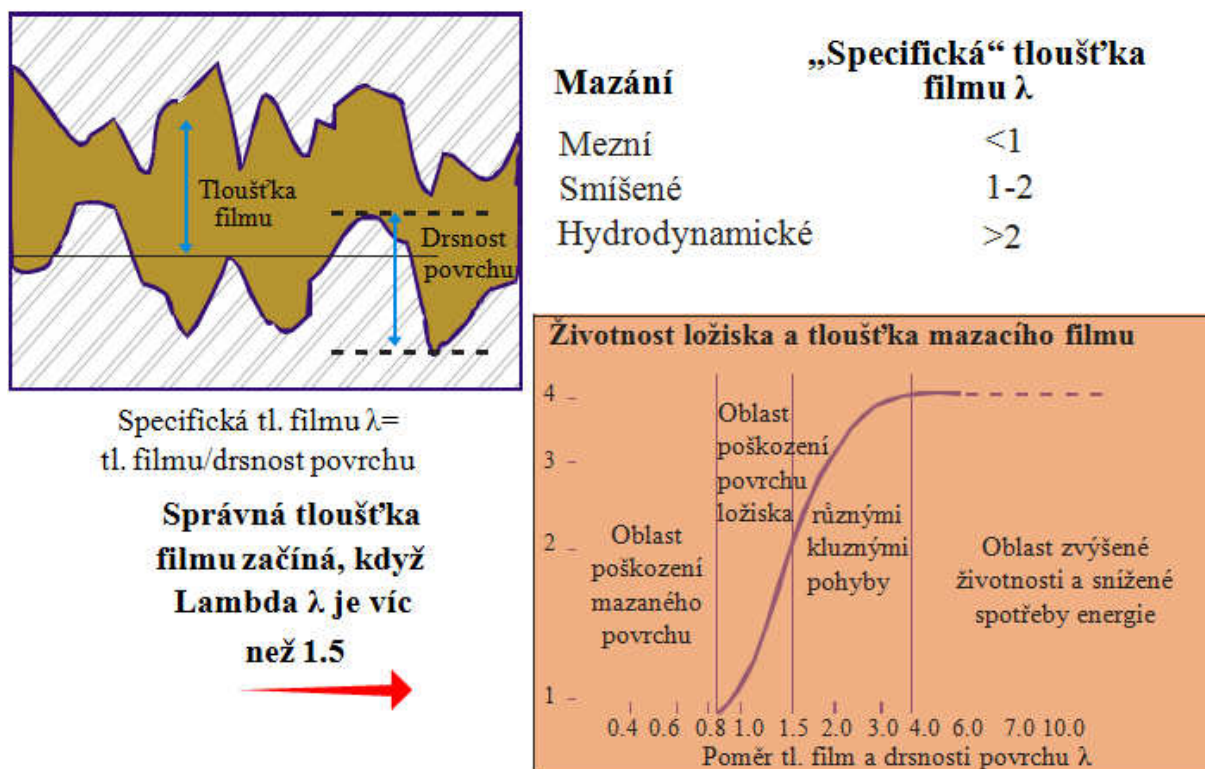
A \ B	2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	2		3		4		5		6		7		8		9		10	
26/23	22/19	20/17	18/15	17/14	16/13	15/12	15/12	14/11	14/11	13/10	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-
25/22	21/18	19/16	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-
24/21	20/17	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-
23/20	19/16	17/14	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/19	18/15	16/13	14/11	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/18	17/14	15/12	13/10	12/9	11/8	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20/17	16/13	14/11	13/10	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/16	15/12	13/10	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/15	14/11	12/9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17/14	13/10	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16/13	12/9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15/12	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14/11	11/8 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/10	11/8 ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/9	11/8 ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Faktor prodloužení životnosti = 1.8 (2) Faktor prodloužení životnosti = 1.5 (3) Faktor prodloužení životnosti = 1.3

Obrázek 18 - Metody prodloužení životnosti (LEM) – valivá ložiska [10]

1.4.2 Vznik a vážnost znečištění částicemi

Následující obrázky ukazují kde, a jak vzniká znečištění a jeho působení na jednotlivé části.



Obrázek 19 - Specifická tloušťka filmu – Lambda λ [10]

Původ znečištění oleje a omezení jeho znečištění (Obrázek 20)

Kde znečištění vstupuje (původ)	Jak to vyloučit nebo omezit
<ul style="list-style-type: none"> ■ Zabudované znečištění. Velké množství znečištění často vstupuje počas výroby zařízení, přestavby, opravy nebo přemístění ■ Nový olej. Málodky je složení oleje dostatečně čisté pro správné udržování systémů ■ Odvzdušňovače. Změny úrovně kapaliny a změny teploty způsobují, že znečištěný vzduch vstupuje do nádrží a převodovek. V některých strojích to může být původ více než 50% všech vnikajících nečistot. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Požadovat aby OEM's a dílny souhlasily s kontrolou čistoty oleje podle akostních norem.* Prověřování čistoty olejů před prvním spoštěním stroje nebo natlakovaním ■ Požadovat od dodavatelů mazív pravidelné zkoušky úrovně znečištění mazív. Požadovat recyklaci mazív. Pravidelná filtrace. ■ Dbát na vysokou účinnost odvzdušňovacích filtrů, které by se mněly používat na nádrže a převodovky

* NFPA T2.%8, ANSI B93.54M, SAEJ1227

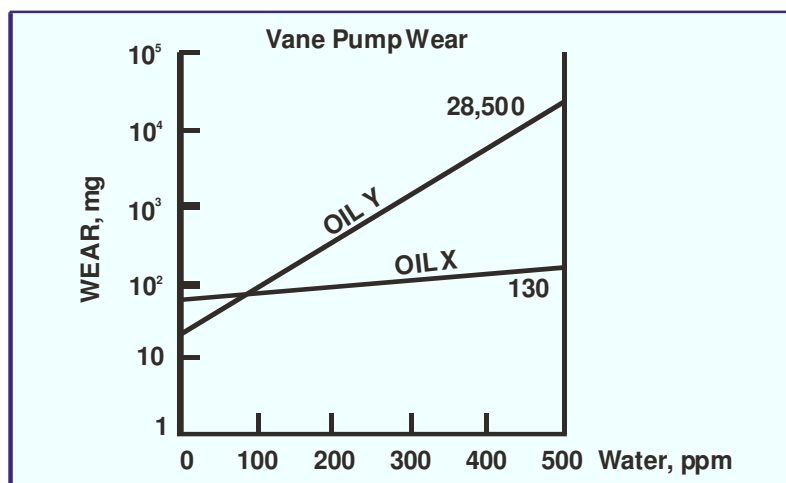
Obrázek 20 - Původ znečištění oleje a omezení jeho znečištění [10]

1.4.3 Znečištění vodou a jeho následky

Účinky kontaminace vodou v oleji. (Obrázek 21)

- Podporují oxidaci - tvorba slíz a živíc
- Zvyšují vodivost - transformátorový olej
- Reaguje s oxydanty/antikorozními přísadami - podoby kyselin a sraženin
- Způsoby "vodního praní" aditiv jsou více rozpustní ve vodě než v oleji, atd., antikorozyanty a antioxydanty. Jiné polární nečistoty jsou také přitahované vodou. To nakonec vede k "chemické polévce" na dně

Hydrolyza=chemická reakce za účasti vody
Hydrolytická stabilita=odolnost oleje vůči hydrolyze



Obrázek 21 - Účinky kontaminace vodou [10]

Účinky kontaminace vodou

Jedna kapka vody v galone
oleje při 82° C zničí
zinkové antiděrové přísady -
kontrola vyhodnotila vodu
pod 100 ppm

1% vody = 10 ppm Faktor prodloužení životnosti (LEF)

PPM \ Aktuální úroveň vlhkosti	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50,000	12500	6500	4500	3125	2500	2000	1500	1000	782
25,000	6250	3250	2250	1563	1250	1000	750	500	391
10,000	2500	1300	900	625	500	400	300	200	156
5,000	1250	650	450	313	250	200	150	100	78
2,500	625	325	225	156	125	100	75	50	39
1,000	250	130	90	63	50	40	30	20	16
500	125	65	45	31	25	20	15	10	8
250	63	33	23	16	13	10	8	5	4
100	25	13	9	6	5	4	3	2	2

Příklad:

Redukcí průměr. hladin vlhkosti kapaliny z 2500 ppm
na 156 ppm prodlouží život stroje (MTBF) faktorem 5.

*Očekávané prodloužení životnosti
mechan. systémů využitím kapalin
na minerálním základu

Obrázek 22 - Metoda prodloužení životnosti oleje (kapalin) při změně jejich vlhkosti [10]

1.5 MONITOROVÁNÍ STAVU PÍSTOVÉHO KOMPRESORU

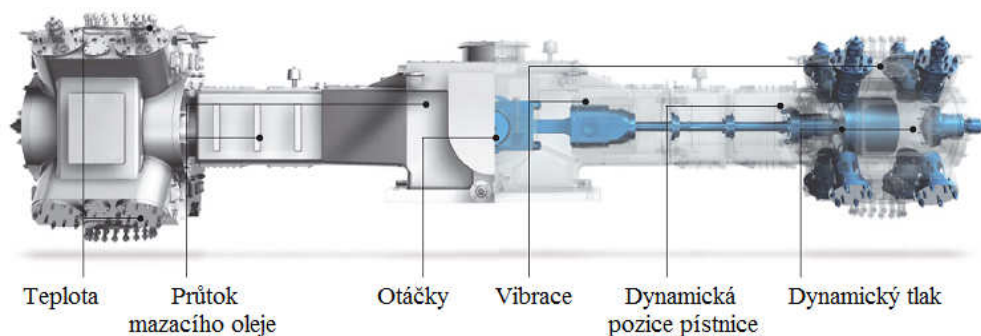
Sledování celkového stavu pístových kompresorů zajistí

- ✚ vyšší bezpečnost personálu a provozu
- ✚ výrazně sníží počet nečekaných poruch a odstavení stroje
- ✚ efektivnější plánování údržby a plánovaných oprav
- ✚ zvýšení životnosti zařízení
- ✚ snižování nákladů

1.5.1 Preferované oblasti monitorování

- ✚ DCS sběr dat (teplota ventilů, teplota oleje)
- ✚ Bezpečnostní monitorování vibrací na křížáku
- ✚ Monitoring vibrací válců
- ✚ Monitoring pístnice
- ✚ Analýza diagramu p-V

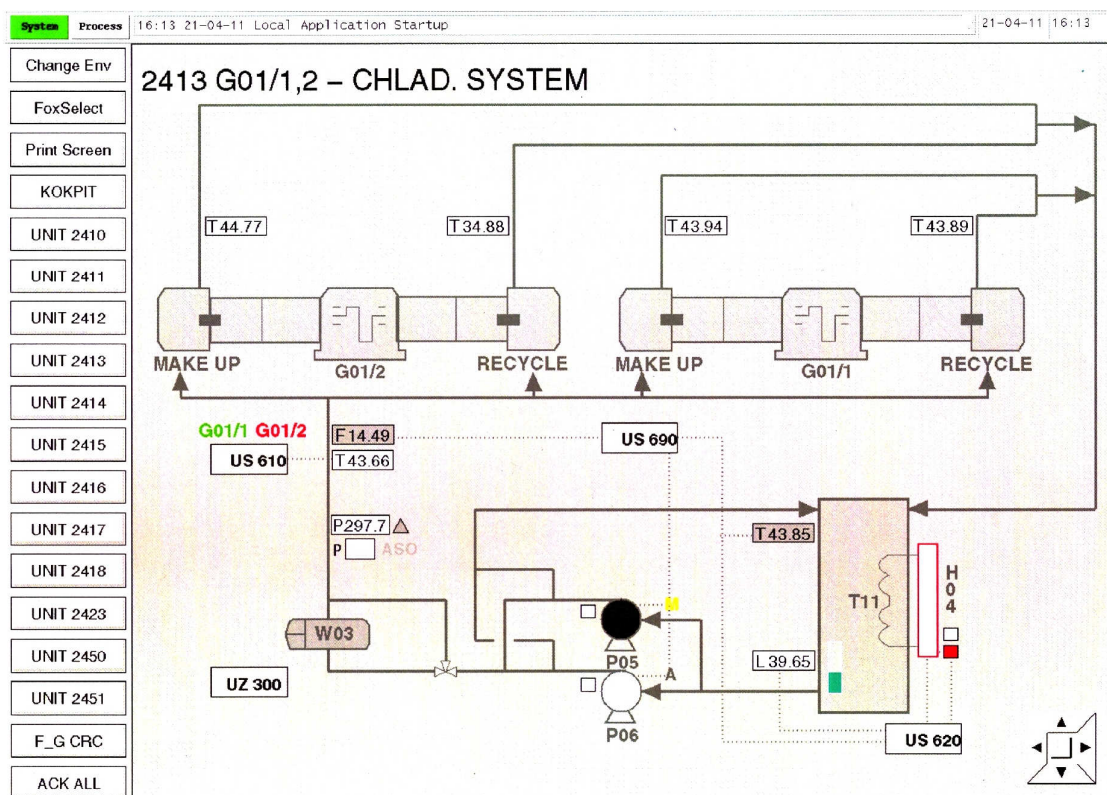
DCS sběr dat



Obrázek 23 - Umístění snímačů pro sběr DCS dat na kompresoru [15].

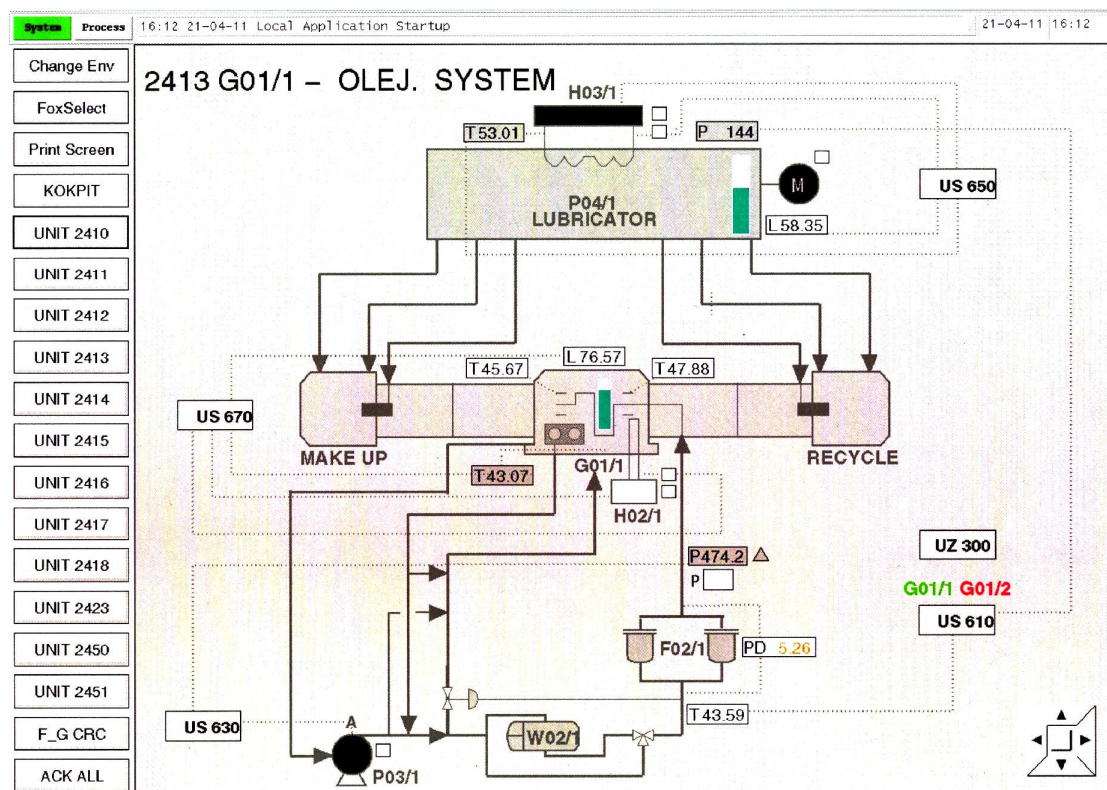
1.5.2 Příklady monitorování z praxe

Monitorování chladicího systému



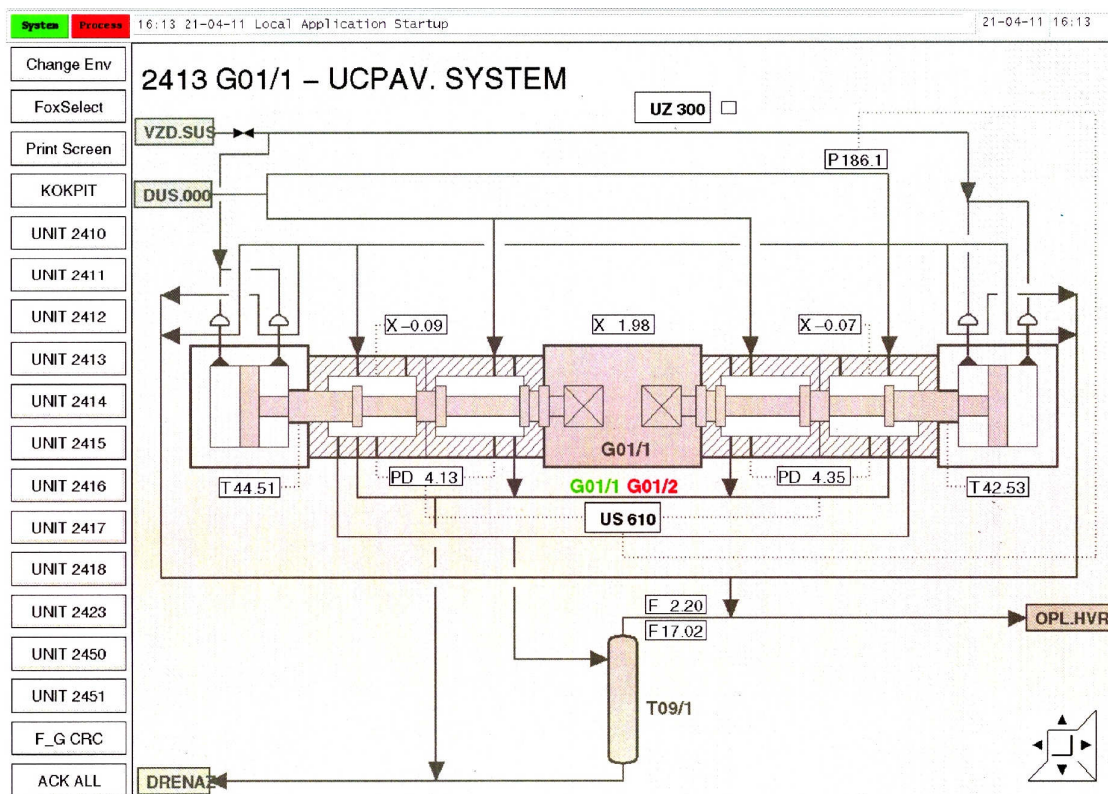
Obrázek 24 - Monitorování chladicího systému [15]

Monitorování olejového systému



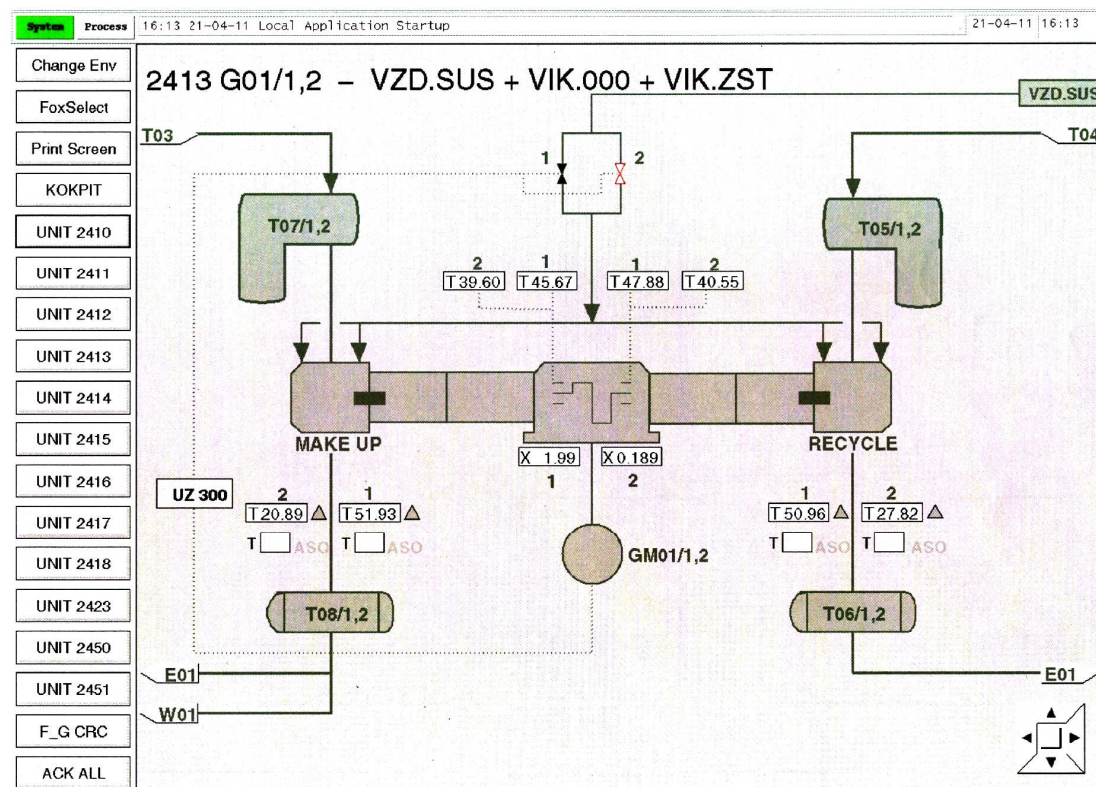
Obrázek 25 - Monitorování olejového systému [15]

Monitorování ucpávkového systému



Obrázek 26 - Monitorování ucpávkového systému [15]


Monitorování vzduchového systému




Obrázek 27 - Monitorování vzduchového systému [15]


Měření teploty ventilového těsnění

- Výhody:

-  Nízké náklady

-  Často jednoduchá instalace

-  Sběr dat přímo do DCS

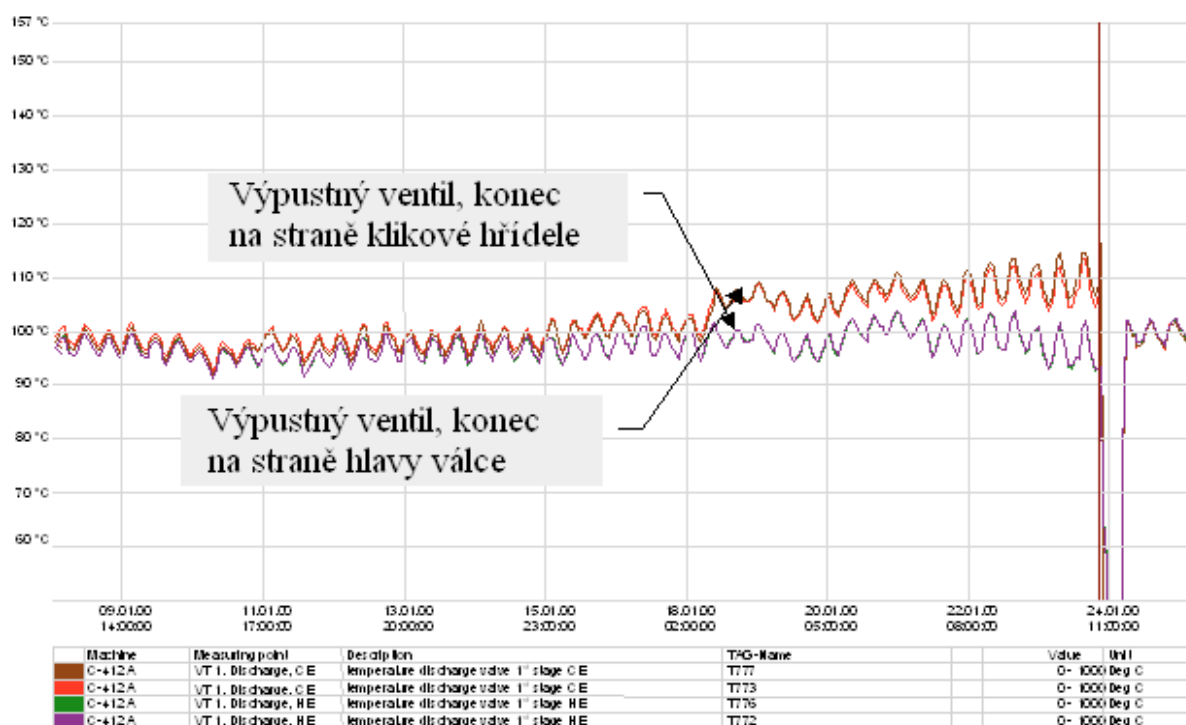
-  Často dobrý indikátor problému těsnosti ventilu

- Nevýhody:

-  Náročná interpretace naměřených trendů, hlavně u vícestupňových kompresorů

-  Mnoho chyb alarmů v důsledku neintegrování monitoringu prahového stavu stroje

-  Malé nebo žádné informace o mechanických problémech (pulzace, přilepení)



Obrázek 28 - Měření teploty ventilového těsnění [15]

Teploty ventilových těsnění na straně klikové hřídele a hlavy ukazují rozdíl způsobený zlomenou ventilovou deskou na straně klikové hřídele.

Analýza P-V diagramu

Výhody:

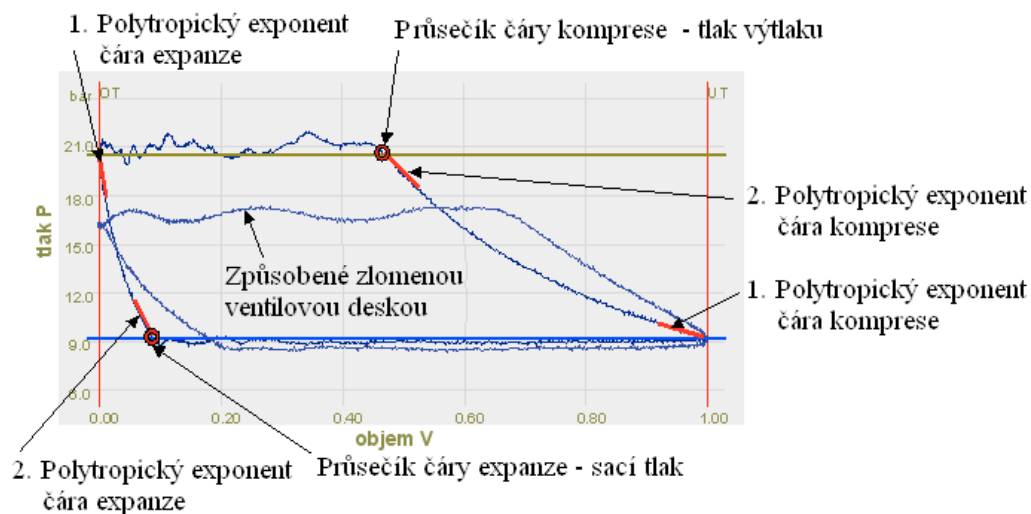
- Detailní informace o stavu těsnění válce s ohledem na ventily a sedla.

- Diagnózy mohou být automatizované on-line monitorováním stavu.

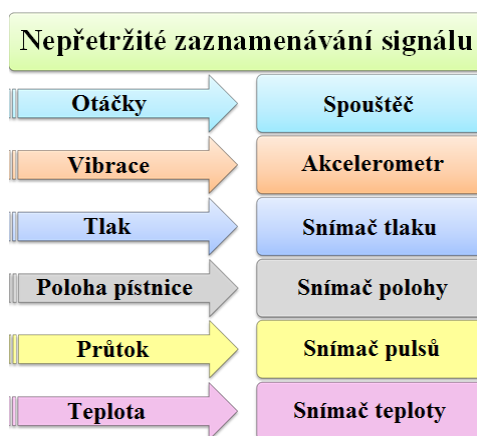
- PC řešení nabízí automatické výpočty přídatných hodnot (výkon, ztráty sání a výtlačku, zatížení pístnice i ojnice apod.) a nepřetržité porovnávání s prahem.

🚩 Nevýhody:

- V závislosti na stroji může být instalace poměrně drahá (vysoce citlivé snímače tlaku).
- Nastavení prahu vyžaduje velmi zkušeného inženýra nebo technickou podporu.

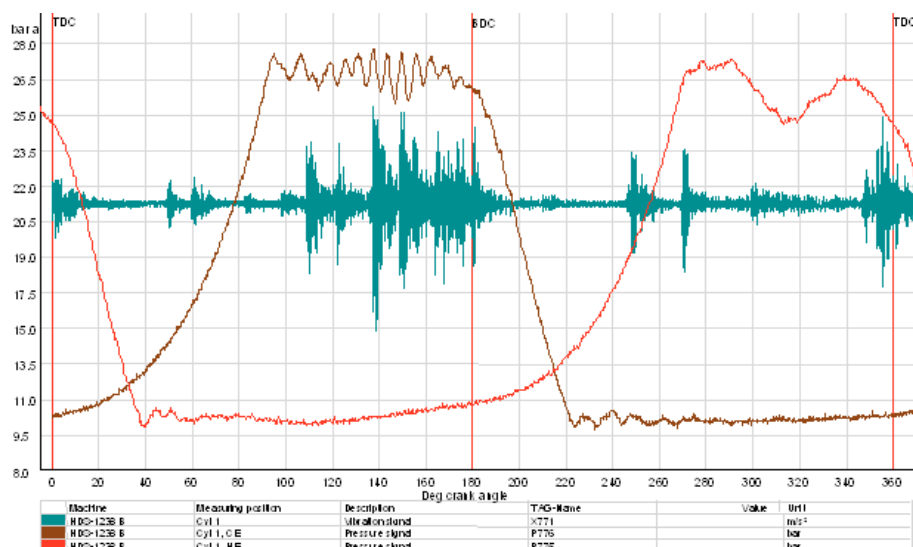


Obrázek 29 - Analýza P-V diagramu [15]



Obrázek 30 - Vibrační analýza – pro nepřetržité zaznamenávání signálu [15]

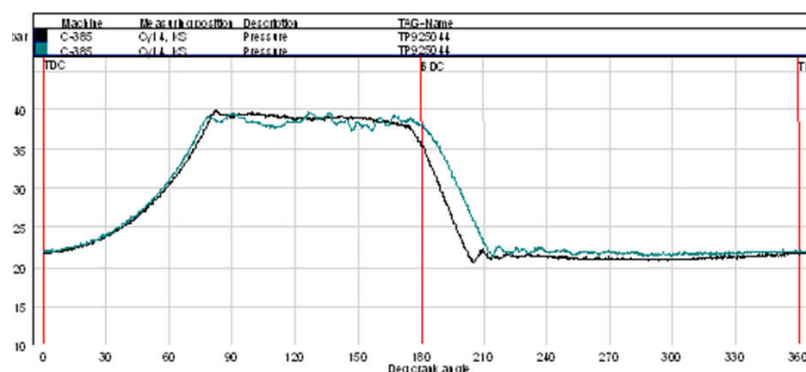
Vibrační analýza napr. pulzování ventilu



Obrázek 31 - Vibrace válce a indikovaný tlak měřený spolu s kmitáním ventilu [15]

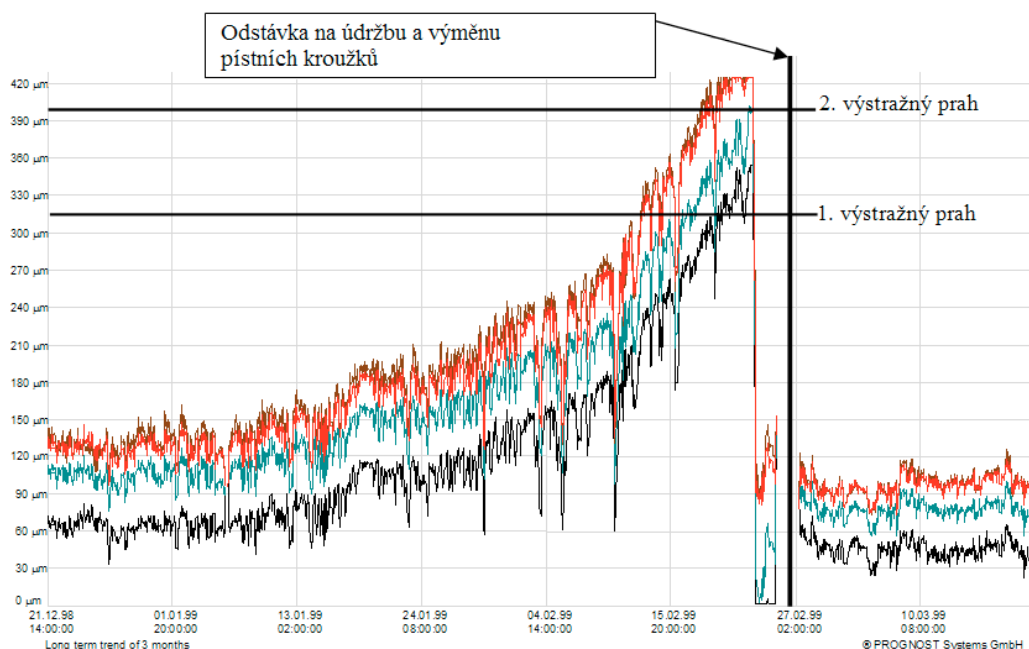
Poznámka 2) Interpretace a analýza dat je někdy velmi složitá. Vyžaduje to expertní databázi a znalosti. Některé firmy nabízejí expertízu přes www.

✚ Problémy tesnění – indikované analýzou tlaku



Obrázek 32 - Efekt prosakujícího tlakového těsnění válce na průběh tlaku [15]

✚ Opotřebení vodících kroužků – analýza polohy pístnice



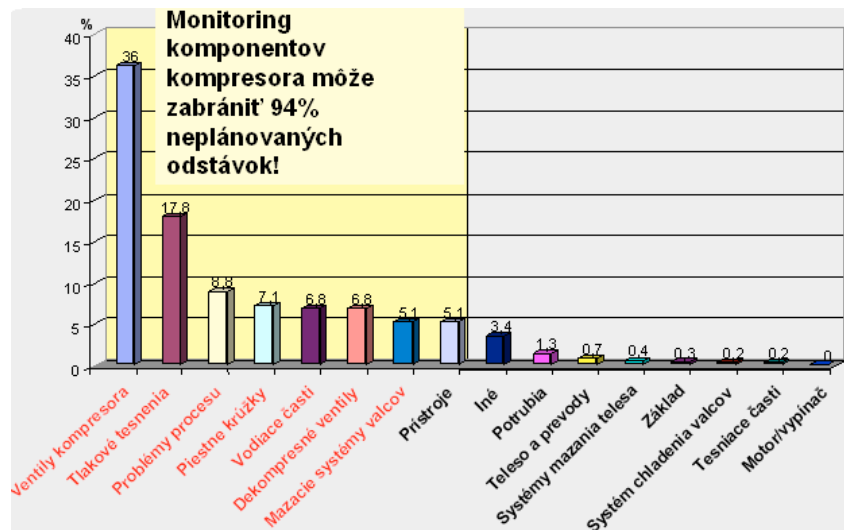
Obrázek 33 - Pokles ojnicích segmentů (hodinový průměr) za posledních 8 týdnů před odstávkou na výměnu opotřebovaných pístních kroužků[15]

1.5.3 Shrnutí diagnostických metod pístových kompresorů

Požadovaná zvýšená spolehlivost a dostupnost pístových kompresorů

- ✚ Pístové kompresory potřebují speciální navrhnuté metody monitorování
- ✚ Při posuzování stavu stroje je potřebné brát ohled na data, která jsou dostupné v DCS
- ✚ Jen kombinace vstupních dat poskytne plnohodnotný obraz o aktuálním stavu zařízení
- ✚ Metody monitoringu ukázaly schopnost určit poškození již ve velmi raném stádiu. Pro zdokonalení systému byly použity již víc než 15leté zkušenosti s obdobnými stroji
- ✚ Monitorování stavu je důležitou částí moderní údržby

1.5.4 Příčiny neplánovaných prostojů kompresorů a jejich následky



Obrázek 34 - Studie příčin poruch kompresorů [15]

Opotřebení komponentů kompresoru

- **komponenty nejrychleji opotřebené [4]**
 - ✚ pístoní kroužky
 - ✚ vodítka ventilů
 - ✚ hlavní a ojniční ložiska
- **komponenty pomaleji opotřebené [4]**
 - ✚ písty
 - ✚ vložky válců
 - ✚ ventily
 - ✚ vačkový hřídel
- **komponenty nejpomaleji opotřebené [4]**
 - ✚ blok kompresoru
 - ✚ hlava kompresoru
 - ✚ klikový hřídel
 - ✚ ojnice

1.5.5 Příklady opotřebení z praxe



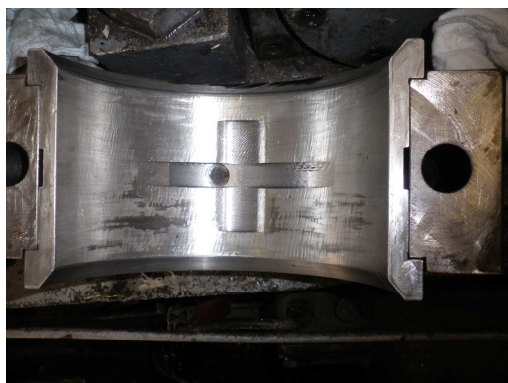
Obrázek 35 - Opotřebení klikové hřídele [15]



Obrázek 36 - Opotřebení válce kompresoru [15]



Obrázek 37 - Rané stadium fatální mechanické poruchy – zlomení pístu [15]



Obrázek 38 - Opotřebení kluzného ložiska klikové hřídele [15]



Obrázek 39 - Opotřebení kluzného ložiska klikové hřídele [15]

Poznámka 3) Další opotřebení komponentů kompresoru tvoří příloha fotodokumentace [15]: Příloha 8; Příloha 9; Příloha 10;

1.5.6 Havárie stroje způsobená nevhodným mazáním

Havárie kompresoru zobrazena na obrázku (Obrázek 40; Obrázek 41) byla způsobena nevhodnými mazacími praktikami. Při havárii došlo k zalepení mazacích drážek a k zadření ojnice na klikové hřídeli. Důvodem byl zoxidovaný olej. Kořenovou příčinou bylo nedodržení výměnného intervalu oleje a nedostatečná tribotechnická analýza a jeho implementace do mazací praxe. [14]

HLAVNÍ PŘÍČINOU HAVÁRIE BYLY NEČISTOTY A VODA

- ✚ neexistující dýchací filtr
- ✚ neznámé zastaralé filtry
- ✚ nevhodné odběrové místo
- ✚ nepříkrytý nalévací otvor
- ✚ nečitelný olejovník
- ✚ Nevýhovující, zastaralý a znečištěný dýchací filtr



DETAIL

Obrázek 40 – Poškození kompresoru způsobené zadřením ojnice na klikovém hřídeli, pohled na stejný kompresor z jiné pozice



Obrázek 41 – Poškozená ojnice kompresoru část 1. (na straně klikové hřídele)



Obrázek 42 – Poškozená ojnice kompresoru část 2. (na straně klikové hřídele)

2 VYHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

2.1 PÍSTOVÝ KOMPRESOR

Popisovaný stroj je určen na stlačování vzdušín (plynů a par). Vzdušinu nasává a stlačuje periodickým zvětšováním a zmenšováním pracovního prostoru přímočarým vratným pohybem pístu ve válci. Velká stlačení vzdušiny se dosahují postupně v několika stupních. Mezi jednotlivými stupni se stlačovaná vzdušina ochlazuje v chladiči (vzduchem nebo vodou), snižuje se tím spotřeba práce pro celkové stlačení a teploty v průběhu i na konci procesu stlačování. Kompresory tohoto typu jsou využívány provozovatelem na stlačení směsi plynů H_2 , H_2S , lehkých uhlovodíků, které jsou zpět vháněny do výrobního cyklu – cirkulační plyn. V praxi se pod pojmem „Kompresor“ nerozumí pouze tento konkrétní stroj, ale celá sestava zařízení, bez které by tento stroj nemohl pracovat (viz Obrázek 43).

2.1.1 Technický popis

Kompresor

Kompresor je ležatý jednoválcový jednostupňový dvojčinný stroj. Poháněný elektromotorem (Obrázek 44), pružně připojený na převodovku (Obrázek 44, Obrázek 45, Obrázek 47).

Převodovka

Převodovou skříň tvoří jednostupňový ozubený převod. Ozubená kola jsou z otěruvzdorné oceli, mají dvojité šikmé ozubení s nitridovým povrchem. Ložiska jsou valivá, skříň je litinová, odolná proti kroucení, uspořádáním vyztuženými žebry. Žebry zvětšená povrchová plocha zajišťuje zvýšení odvádění tepla. Převodový olej je chlazen chladicí spirálou ve spodní části skříňe. Kola se noří do oleje a zajišťují tak intenzivní mazání všech pohybujících se dílů. Stav oleje se kontroluje v průhledítku. Skříň převodovky (Obrázek 44) je odvětrávána sítovým dýchacím filtrem. Výstupní hřídel převodovky je spojen spojkou s klikovým mechanismem kompresoru (Obrázek 44, Obrázek 45, Obrázek 48).

Válec kompresoru

Vodorovně uložený válec kompresoru je dvojčinný a je vyroben z šedé litiny. Kolem vlastního kompresního prostoru válce je chladicí plášť s náplní chladicí kapaliny - nemrznoucí směsí (Fridex). Sání je umístěno nahoře. Výtlak je na spodní části válce. Ventily jsou uspořádány z boku na plášti. Válec je k svařované klikové skříni (Obrázek 46) s vedením křížáku připojen přes dvojitou komoru.

Dvojitá komora

Dvojitá komora je mezikus svařované konstrukce, který se nachází mezi vedením křížáku a spojovací přírubou válce, je rozdělen do dvou komor. První komora končí stěračem oleje na pístnici (olej je odsud odváděn zpět do klikové skříně). Druhá komora přivrácená ke straně válce končí neprodyšnou ucpávkou pístnice s dusíkovým vyplachováním. Slouží jako sběrač prosakujícího plynu a jeho odvádění. Mimo to je druhá komora vybavena přípojkami pro odtok oleje a pro eventuální měření tlaku. Prvá komora má odvzdušňovací otvor.

Kliková hřídel

Ocelová kovaná kliková hřídel má jedno zalomení, uložena je ve dvou vnitřních ložiscích klikové skříně a jednom vnějším ložisku za setrvačником (viz Obrázek 49, Obrázek 44). Ložiska klikové skříně jsou kluzná, dvoudílná s výstelkou z bílého ložiskového kovu. Pánev je ocelová. Mezi pánví a bílým kovem je vrstva olovnatého bronz, mající vlastnosti vhodné pro nouzový běh.

Ojnice a ojnicí hlava

Ojnice je z kované oceli. Dělená ojnicí hlava je spojena šrouby z hodnotné legované oceli. Dvojdílné ojnicí ložisko klikového čepu je trojsložkové - ocel, olovnatý bronz, bílý kov.

Čep křížáku

Čep křížáku je cementován. Ložisko čepu křížáku je z olovnatého bronz s ocelovou pánví. Těleso dvojdílného křížáku je z ocelolitiny, smýkadla ze šedé litiny, vyložené bílým ložiskovým kovem.

Píst a pístnice

Píst je ze šedé litiny. Na obvodě jsou vedle drážek pro pístní kroužky ještě kluzné plochy z bílého ložiskového kovu pro správné vedení pístu ve válci. Pístní kroužky jsou jednodílné, se šikmým stykem. Pístnice je vykovaná z uhlíkaté oceli a je napojena na křížák, dvojitým kuželovým pouzdrem a přítlačnou přírubou.

Vnější ložisko klikové hřídele - ložiskový domek

Vnější ložisko mezi setrvačником a spojkou je také vyloženo bílým ložiskovým kovem. Vyměnitelná dvoudílná ložisková pánev je uložena v ložiskovém tělese z ocelolitiny na kulové ploše. Mazání vnějšího ložiska je kroužkové.

Blok kompresoru

Blok kompresoru je svařenec z ocelového plechu a odvětráván sítovým dýchacím filtrem (Obrázek 46).

Regulace přepravovaného množství

Kompresor je opatřen zařízením, které dovolí měnit dopravované množství stupňovitě po 25%. Regulace se provádí připojením přídatného škodlivého prostoru a je kombinovaná s regulací zvedáním sacích ventilů. Regulace se provádí ručně na válci kompresoru při normálním chodu kompresoru. Připojením přídatného prostoru docílíme regulaci dopravovaného množství o 25%. Regulací zdvižením sacích ventilů upravíme výkon cca o 50 - 100%. Kombinace obou způsobů regulace dovolí tedy přepravovat cca 75, 50, 25 a 0% plynu. Sací ventily mohou být pouze v poloze zcela zdvižené nebo spuštěné. Jakákoliv mezipoloha vede ke zničení ventilu.

Tabulka 7 - Technické parametry elektromotoru [14]

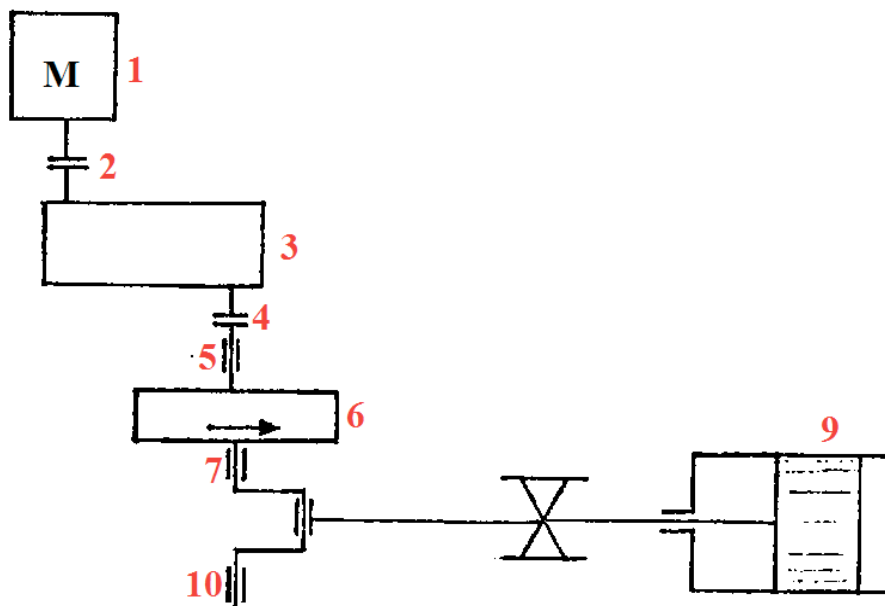
Typ: SIEMENS / 1 MJ 5478 – 4 FE 60 – Z		Směr otáčení: levý, pohled od náhonu
Zapojení: Y		
Jmenovitý výkon	320	kW
Jmenovité napětí	6000	V
Jmenovitý proud	37	A
Frekvence	50	Hz
Jmenovité otáčky	1485	min ⁻¹
Přenášecí orgán: čelní soukolí s pružnou spojkou typ Flender / SENW 320		
Moment setrvačnosti	19443	N · m ² /staré značení 1982/
Stupeň nerovnoměrnosti	1:100	
Setrvačník dvoudílný, průměr	1400	mm
Hmotnost	3,3	t
Mazání: plastické mazivo typ MOGUL LV 2-3 80g/ 8000 hodin		
Ložiska: AS NU 220 C3 ; BS NU 220 C3 + 6220 C3		

Tabulka 8 - Technické parametry kompresoru zařízení 2512 G1/2 [14]

Rok výroby: 1972 Typ: 1G26,5 A28,5S		
Druh konstrukce: ležatý, 1 klikový, 1 stupňový		
Dopravované médium: CH – cirkulační plyn		
Těžené množství	20 500	N · m ³ · h ⁻¹
Dodávané množství	764	m ³ · h ⁻¹
Sací tlak	3.14	MPa /staré značení 32 ata/
Sací teplota	40	°C
Výstupní tlak	4.12	MPa /staré značení 42 ata/
Výtlačná teplota za kompresorem	58	°C
Otáčky	420	min ⁻¹
Zdvih	265	mm
Příkon na klikové hřídeli	260	kW
Teplota chladicí vody	25	°C
Potřeba chladicí vody při ohřátí o 3°C	cca 2,3	m ³ · h ⁻¹
Spotřeba oleje při normálním provozu – válec	cca	g · h ⁻¹
Vnitřní průměr válce	285	mm
Průměr pístnice	75	mm
Mazací olej typ: MOGUL KOMPRESO K 100	110	l
Filtr mazacího oleje: 20 µm ocelové síto	2	ks

Tabulka 9 - Technické parametry převodovky [14]

Vstupní otáčky	1485	min^{-1}
Výstupní otáčky	420	min^{-1}
Mazací olej typ: MOGUL Trans 90 H	11,5	l



Obrázek 43 - Schéma sestavy kompresoru [14]

Legenda:

Poz. 1 - elektromotor

Poz. 2 - spojka

Poz. 3 - převodovka

Poz. 4 - spojka

Poz. 5 - ložiskový domek

Poz. 6 - setrvačnick

Poz. 7 - ložisko klikové

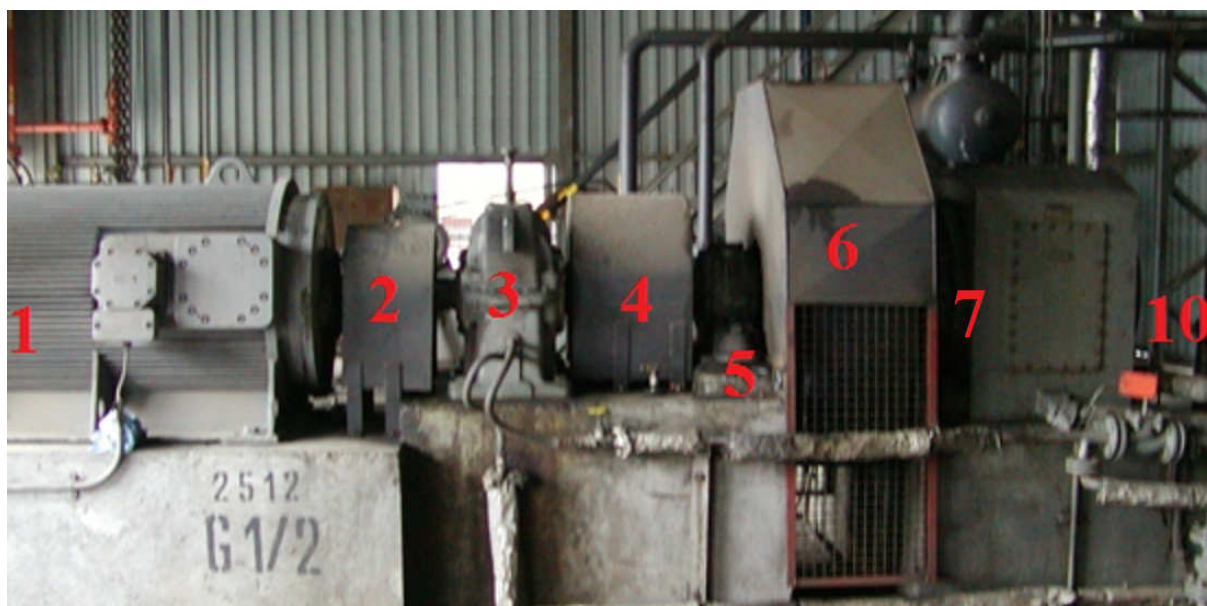
Poz. 8 - blok kompresoru

Poz. 9 - válec kompresoru

Poz. 10 - ložisko klikové

Poz. 11 - nádrž olejová

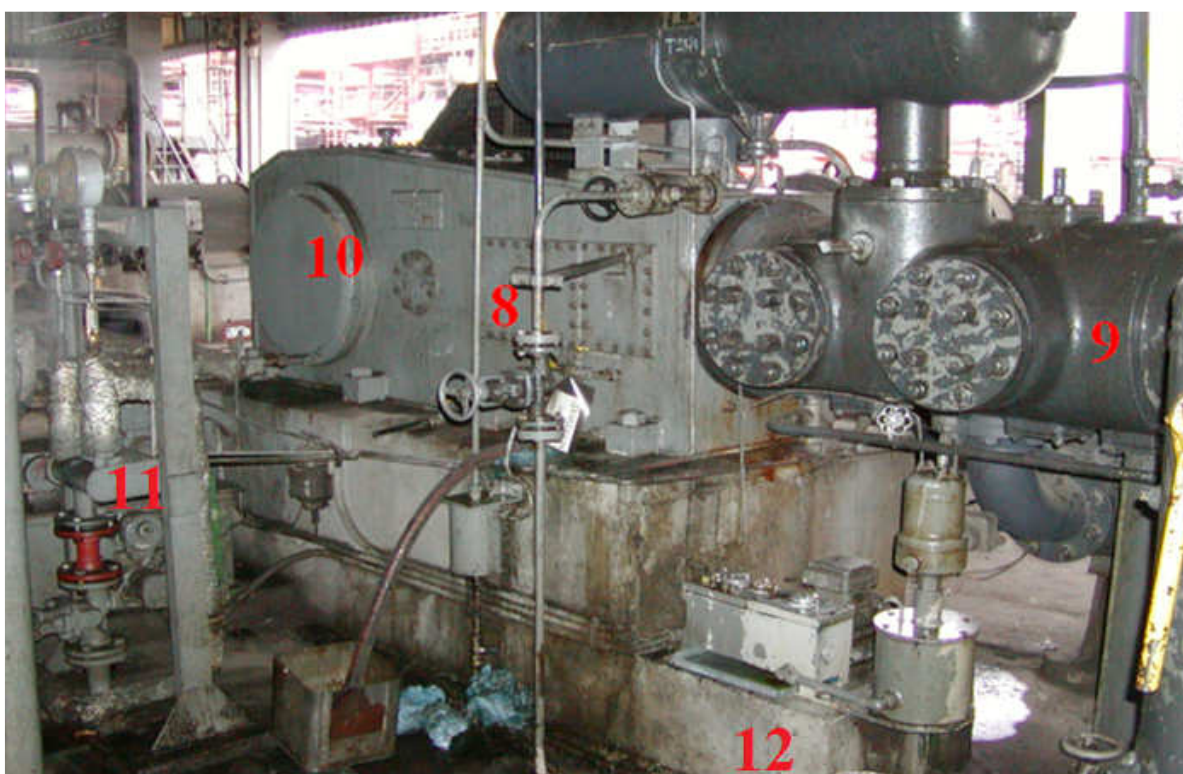
Poz. 12 - ztrátové mazání pístu



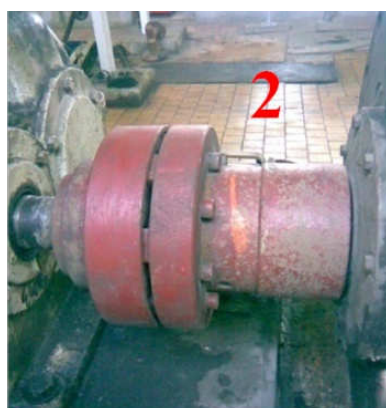
Obrázek 44 - Kompresor, pohled zprava [14]



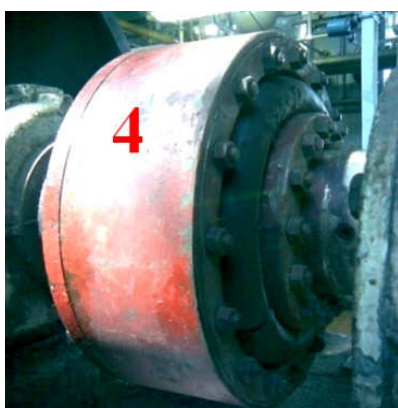
Obrázek 45 - Kompresor, pohled zleva [14]



Obrázek 46 - Kompresor, pohled z boku [14]



Obrázek 47 - Spojka
(elektromotor-převodovka
[14])



Obrázek 48 - Spojka
(převodovka-klikový hřídel)
[14]



Obrázek 49 - Ložiskový domek
klikového hřídele s kluzným
ložiskem [14]

2.2 ANALÝZA ZPŮSOBOBU MAZÁNÍ

2.2.1 Současný způsob mazání

Převodovka kompresoru

Mazání převodovky je rozstřikové. Kontrola hladiny oleje je olejoznakem. Mazací olej MOGUL TRANS 90H. Množství náplně 11,5 litrů. Výměna oleje se prováděla dle analýzy.

Ztrátové mazání válce kompresoru

Tlakový ztrátový mazací systém slouží na ztrátové mazání válce kompresoru. Mazací systém je umístěn na podlaze u válce kompresoru. Mazací olej MOGUL K18, množství náplně cca 5 litru. Doplnění oleje podle potřeby. Rozbor oleje se neprovádí.

Ložiskový domek kompresoru




Ložiskový domek slouží na uchycení počátku klikové hřídele před setrvačником kompresoru. Mazání hřídele v domečku je brodicí. Kontrola hladiny oleje je olejoznakem. Mazací olej MOGUL KOMPRESO K100. Množství náplně cca 3 litry. Výměna oleje se prováděla náhodně. Rozbor oleje se neprováděl.

Kompresor

Kliková hřídel kompresoru je uložena v kluzných ložiscích. Mazání kluzných částí je zajištěno tlakovým mazacím rozvodem vevnitř kompresoru. Olejová nádrž pro mazání je umístěná vedle klikové skříně kompresoru. Mazací olej MOGUL KOMPRESO K100. Náplň nádrže má 110 litrů. Zubové čerpadlo s elektromotorem, určené pro tlakový rozvod mazání, je umístěno na víku olejové nádrže. Součástí olejového rozvodu je chladič a filtry oleje. Kontrola hladiny oleje je olejoznakem na boku nádrže. Filtrace a výměna oleje se prováděla dle tribotechnické analýzy.

2.2.2 Audit mazání

Audit provedla firma CMMS 22. 1. 2004. Jako pracovník firmy jsem se auditu zúčastnil a aktivně podílel se na vypracování zprávy.

-  Stav strojů a mazání je vyhovující až na uvedené výjimky.
-  Stav mazání kontraktorem je vyhovující až na uvedené výjimky.
-  Stav kontrolovaných strojů a mazání v části provozu 2512 je nevyhovující – nutný co nejrychlejší zásah, pro odstranění rizika možné havárie.

KOMPRESOR

Rozbor současného způsobu mazání

Není zjištěno, jaké jsou používány vzduchové a olejové filtry, kdo a kdy je mění. U provozu 2512 vzduchové filtry nejsou – nevyhovuje a olejové jsou zastaralé. U pístových kompresorů se neprovádí sledování tribotechnických parametrů. Vzhledem k nedostatečné filtraci může dojít k oxidaci a degradaci oleje, zalepení olejových rozvodů, ložisek a totální havárii stroje. Nedávný případ varuje. Dosud není jasné, kdy a kdo odkaluje nádrže. U některých strojů je zvýšené znečištění. Odběrové místa olejů u některých strojů bude nutné změnit pro lepší reprezentativnost vzorku. Vyžaduje to technologickou změnu. Plnění lisů se provádí špachtlí, při tom dochází k vytvoření bublinek a zanášení nečistot do maziva.

Doporučení k odstranění zjištěných nedostatků

Pro zvýšení reprezentativnosti vzorku změnit vzorkovací místo – konzultovat. Pro nejreprezentativnější vzorkování vytvořit u filtrů vzorkovací porty z „MINIMES“ konektorů. Většina strojů má záslepky na vyhovujících místech. Zjistit stav, kdo a kdy mění vzduchové filtry. Během odstávky vyměnit nevyhovující vzduchové filtry. Doporučujeme k plnění ručních lisů plastického maziva používat lisy pro sudy anebo nejlépe kupovat maziva v kartuších 400g. Firma PARAMO, a.s. dodává mazivo LV2-3 v kartuších. Maziva značky Shell a SKF jsou běžně k dostání v kartuších. Pro problematické stroje je nutno zvážit použití automatických maznic. Pro ložiska je výhodnější mazat častěji, menším množstvím maziva, tak aby nedošlo k přemazání ložisek. Výhledově zrevidovat mazivo LV2-3 a zvážit jeho nahrazení, protože jeho viskozita základního oleje je příliš nízká.

ELEKTROMOTOR

Rozbor současného způsobu mazání

Mazání elektromotoru se provádí mazacím lisem dle mazacího plánu a vykonává je externí firma odpovědná za elektrickou instalaci a opravy elektrických strojů v podniku. Při plnění lisů mazivem se používá špachtle, zde vzniká možnost vytvoření bublinek a zanášení nečistot do maziva. Mazání provádí zodpovědná firma dle vlastních mazacích plánů s intervalem domazávání jednou za šest měsíců. Použito plastické mazivo MOGUL LV 2-3. Celkový stav mazání je vyhovující.

Ve skladě materiálu jsou vyčleněny dvě kovové uzamykatelné skříně, kde se skladuje plastické mazivo a nářadí mazače – vyhovuje.

Externí firma odpovědná za elektrickou instalaci a opravy elektrických strojů v podniku používá k mazání několik druhů maziv. Maziva jsou správně označena, nádoby uzavřeny, stav čistoty je vyhovující. Pro každý typ maziva se používá zvlášť mazací lis – vyhovuje.

Doporučení k odstranění nedostatků

Vlivem plnění mazacích lisů špachtlí se může stát, že vzduchová bublina vznikající v lisu způsobí, že mazač nenamaže odpovídající množství maziva, a ložisko se může poškodit. Doporučujeme používat k plnění mazacích lisů speciální plnicí zařízení, které se montují na sudy s plastickým mazivem, nebo nejlépe kupovat maziva v kartuších 400 g. Paramo, a.s. dodává mazivo LV2-3 v kartuších. Taktéž maziva značky Shell a SKF jsou běžně k dostání v kartuších.

MAZACÍ PLÁN

Rozbor současného stavu

Mazání se provádí dle nařízení zadavatele. Mazání se provádí zpravidla dvakrát ročně předepsaným množstvím maziva. Problematické stroje se mažou častěji. Mazací aktivity jsou vedeny v sešitu.

Doporučení k odstranění nedostatků

Do budoucna doporučujeme převést mazací aktivity na počítač, aby byl přístup k datům na síti pro diagnostické účely. Pro problematické stroje zvážit použití automatických maznic. Pro ložiska je výhodnější mazat častěji, menším množstvím maziva, aby nedošlo k přemazání ložisek. Výhledově zrevidovat mazivo LV2-3 a zvážit jeho nahrazení, protože jeho viskozita základního oleje je příliš nízká. Zrevidovat druhy maziva na cca 2-3. Např. Shell Alvania, SKF LGMT2 a Paramo LV2-3 jsou plně nahraditelné jediným typem, jejich složení a fyzikální vlastnosti jsou téměř totožné (až na nevyhovující viskozitu LV2-3). Doporučujeme zavést maximum 3 typy maziv na motory.

MAZACÍ SOUSTAVA KOMPRESORU

Zjištěné závady a připomínky

Typ olejového filtru nebyl nezjištěn. Vzhledem k předpokládanému stáří pravděpodobně již nevyhovuje. Barva na šroubech víka filtru není porušena, což svědčí o tom, že nebyly ještě od poslední opravy měněny, tzn. několik let.

Prostředí v okolí stroje i stroj sám je znečištěn, proto hrozí riziko znečištění olejové náplně při filtraci anebo manipulaci.

Vzduchový filtr u převodovky je zaslepen, u kompresoru zcela chybí, je tam otevřená trubka - nevyhovující.

Odběrové místo u převodovky částečně vyhovuje. Při použití tohoto odběrového místa pro vzorkování je nutné, z důvodu abychom nebrali olej, který je v dlouhém slepém potrubí, odpustit ze stroje a následně vrátit do stroje přibližně 1 litr oleje. Ze skříně kompresoru se nevzorkuje, olejový filtr je zastaralý a vzduchový filtr není, je tam pouze otevřená trubka.

Touto trubicou môžu do olejovej nádrže vnikat prachové častice z vonkajšieho prostredia, ktoré môžu poškodiť ložiska, mazané klzné plochy a zapríčiniť oxidáciu oleja.

Doporučení k odstranění nedostatků

Nádrže osadit vyhovujícími vzduchovými filtry a zajistit jejich pravidelnou výměnu. Zajistit pravidelné vzorkování i ze skříňové kompresorů – dočasně ventilem na olejovém potrubí u filtrů. Zkontrolovat filtry, zvážit jejich rekonstrukci anebo nádrže doplnit bypassovou filtrací. Odstranit závady.

2.2.3 Další nedostatky současného stavu mazání

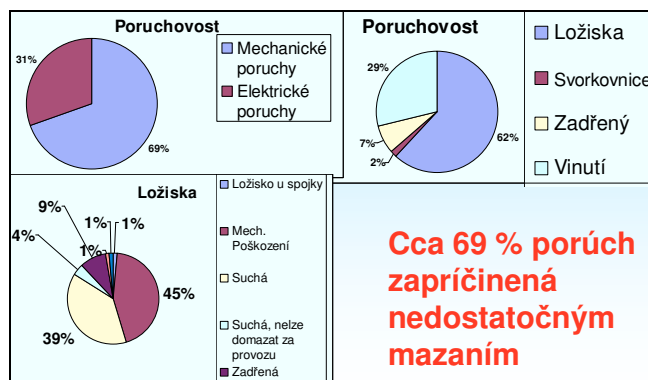
Jako pracovník kontraktora CMMS jsem zjistil, že v hlavní olejové nádrži pro mazání kompresoru, převodovce a ložiskového domku, dochází během provozu ke zvyšování množství nečistot v nádržích.

Dolévání oleje se neprovádí profesionálním postupem. Nový čistý olej ze sudu je nejprve přecherpan do kýblu nebo kanystru, přičemž se nedbá na čistotu této nádoby. Mnohdy stojí, leží tento kýbl několik dnů, ale i týdnů vedle olejového sudu, práší se do něho a padají tam různé nečistoty. Při načerpání nového oleje do takto znečištěné nádoby se smíchá olej s těmito nečistotami a je vléván z této nádoby přímo do olejové nádrže. Tímto neprofesionálním postupem je do nádrže dodáno velké množství nečistot.

Dalším problémem, který nepříznivě působí na zvyšování počtu nečistot v nádrži je, že nádrž a příslušné části stroje nemají dýchací filtr. Hodně nečistot se proto dostává do nádrže přes v současnosti používané dýchací potrubí, které tvoří ohnutá trubka.

2.2.4 Analýza poruchovosti strojů

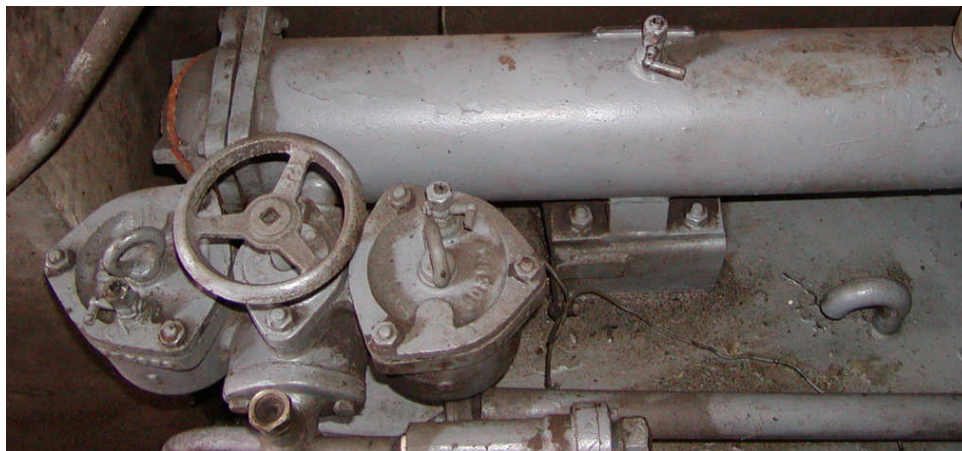
V letech 2001 až 2003 CMMS provedlo důkladnou historickou analýzu poruchovosti strojů jedné rafinérie. Výsledky analýzy jsou uvedeny v diplomových pracích. Analýza pochází z databáze firmy CMMS, s.r.o. Z této studie je vybrán vliv mazání na poruchovost elektromotoru (Obrázek 50). [10]



Obrázek 50 - Statistická analýza poruchovosti elektromotorů [10]

2.2.5 Ukázky závad nalezených při auditu

- Neexistující dýchací filtr, neznámé zastaralé filtry, nevhodné odběrové místo (viz Obrázek 51).



Obrázek 51 - Olejová nádrž, filtry, chladič oleje, dýchací trubka olejové nádrže [14]

- Nepřikrytý nalévací otvor, nečitelný olejznak, nevhodné odběrové místo (viz Obrázek 52).



Obrázek 52 - Ložiskový domek klikového hřídele s kluzným ložiskem [14]

- Nevyhovující zastaralý a znečištěný dýchací filtr (viz. Obrázek 53, Obrázek 54).

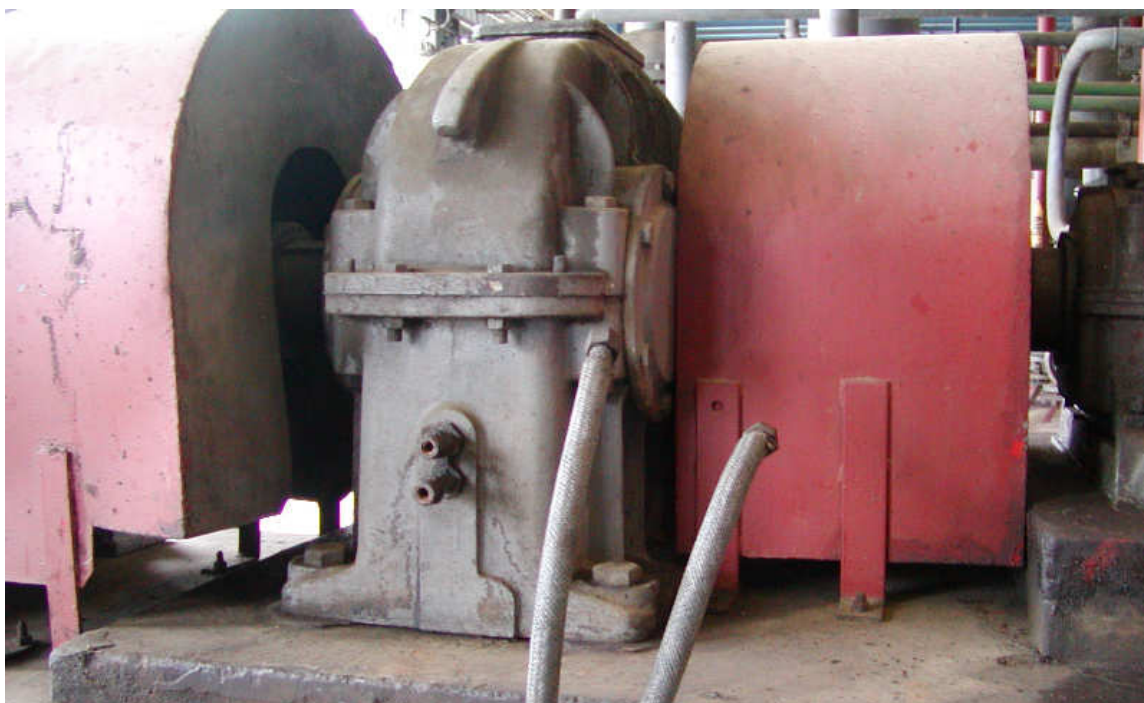


Obrázek 53 - Dýchací filtr převodovky, staré provedení [14]



Obrázek 54 - Dýchací filtr klikové skříně, staré provedení [14]

- Odpojené chlazení (viz Obrázek 55)



Obrázek 55 - Odpojené chlazení [14]

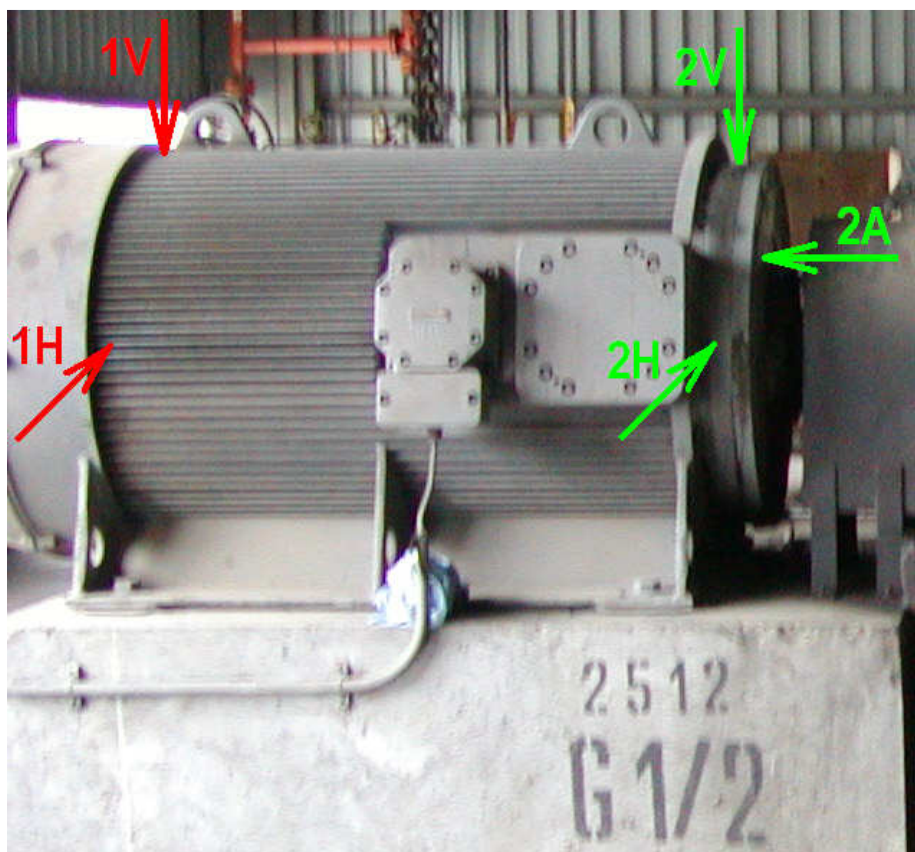
2.3 VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA PK 2512 G1/2

Při vyhodnocování stavu stroje na základě prováděného měření dle seznamu diagnostických metod (viz Obrázek 61), jsem zjistil, že je zapotřebí doplnit další diagnostické metody o ACC, ENV, SEE, HFD dle normy ČSN ISO 10816, podle typu zařízení.

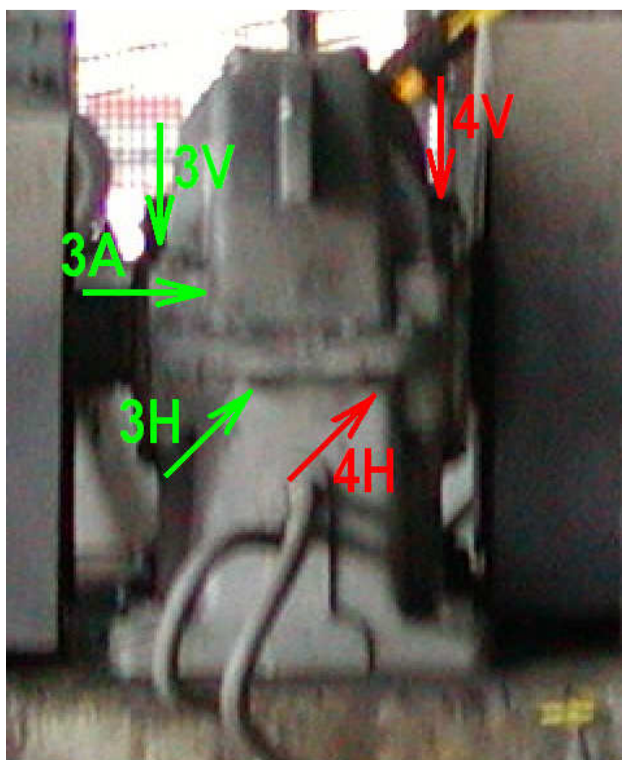
Pro pístový kompresor je doporučená norma ISO 10 816-6, Stroje s vratným pohybem a jmenovitým výkonem nad 100 kW.

Pro průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15000 1/min je doporučená norma ISO 10 816-3.

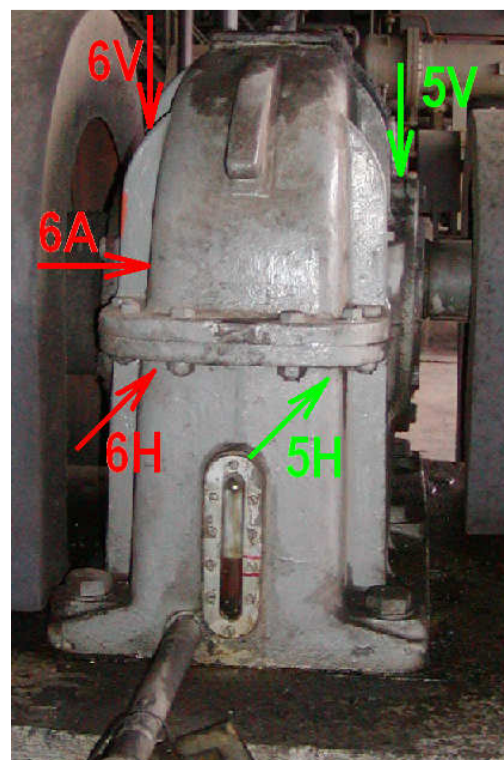
2.3.1 Měřicí místa na soustrojí pístového kompresoru



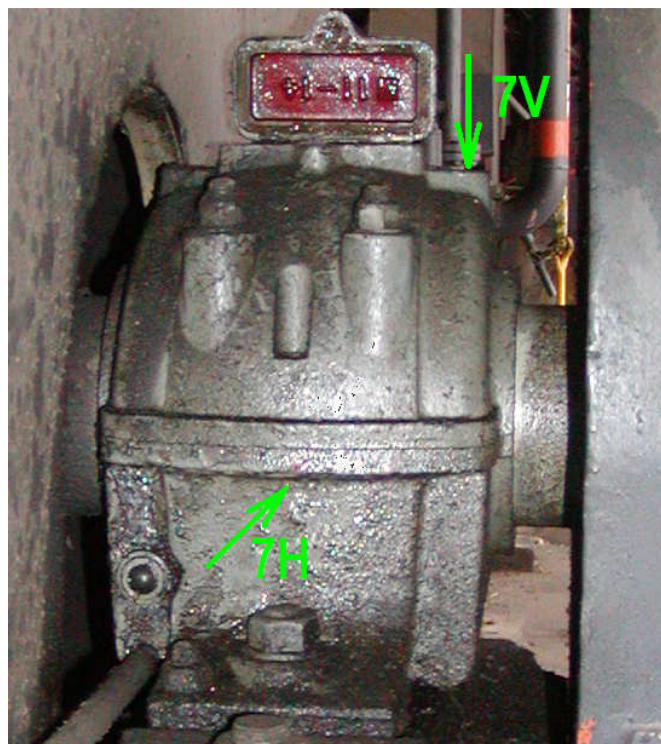
Obrázek 56 – Měřicí místa ELEKTROMOTOR



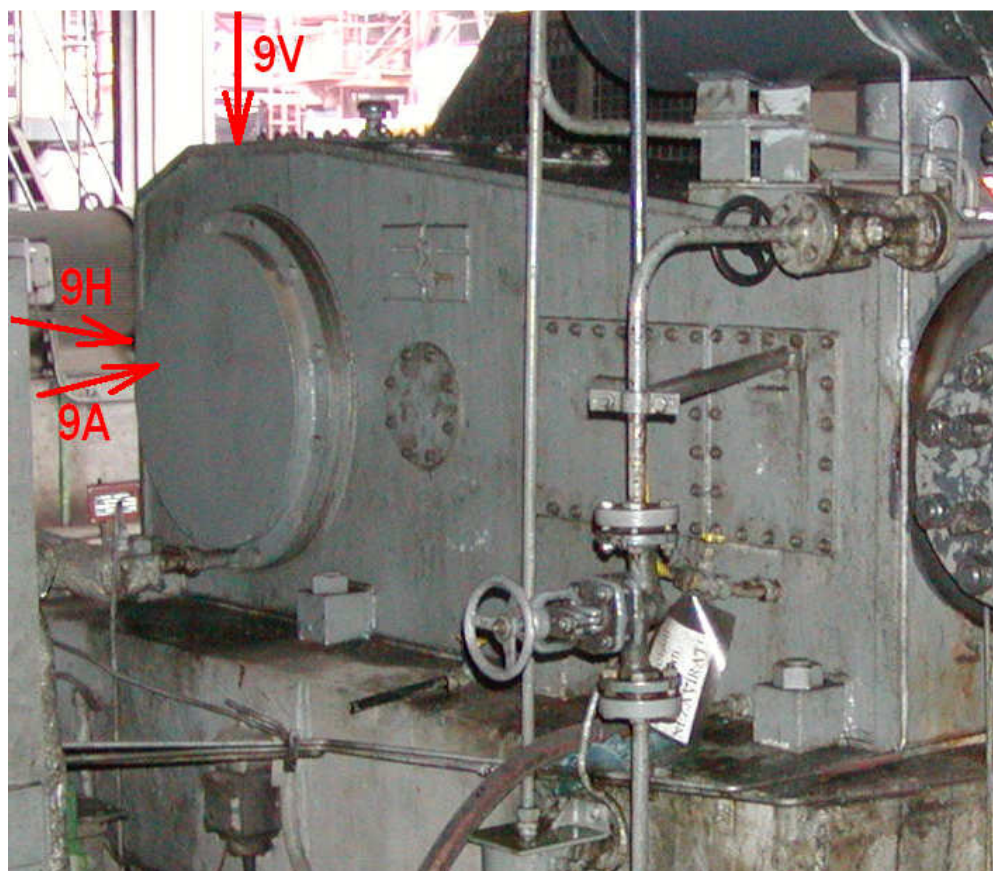
Obrázek 57 - Měřicí místa PŘEVODOVKA
hnací hřídel



Obrázek 58 - Měřicí místa PŘEVODOVKA
hnáný hřídel



Obrázek 59 - Měřicí místa LOŽISKOVÝ DOMEK

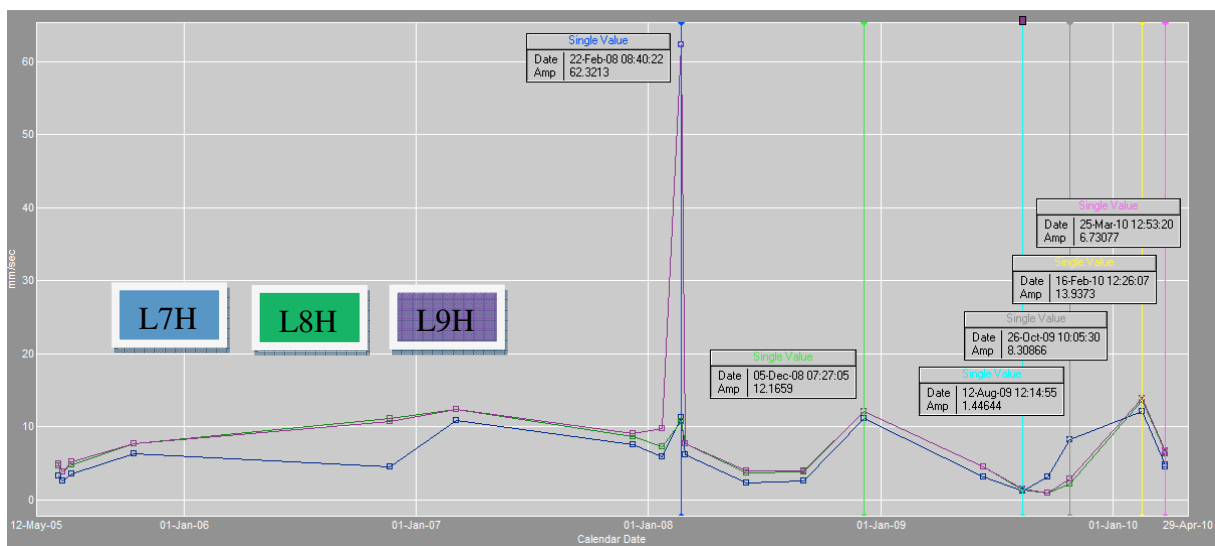


Obrázek 60 – Měřicí místa BLOK KOMPRESORU

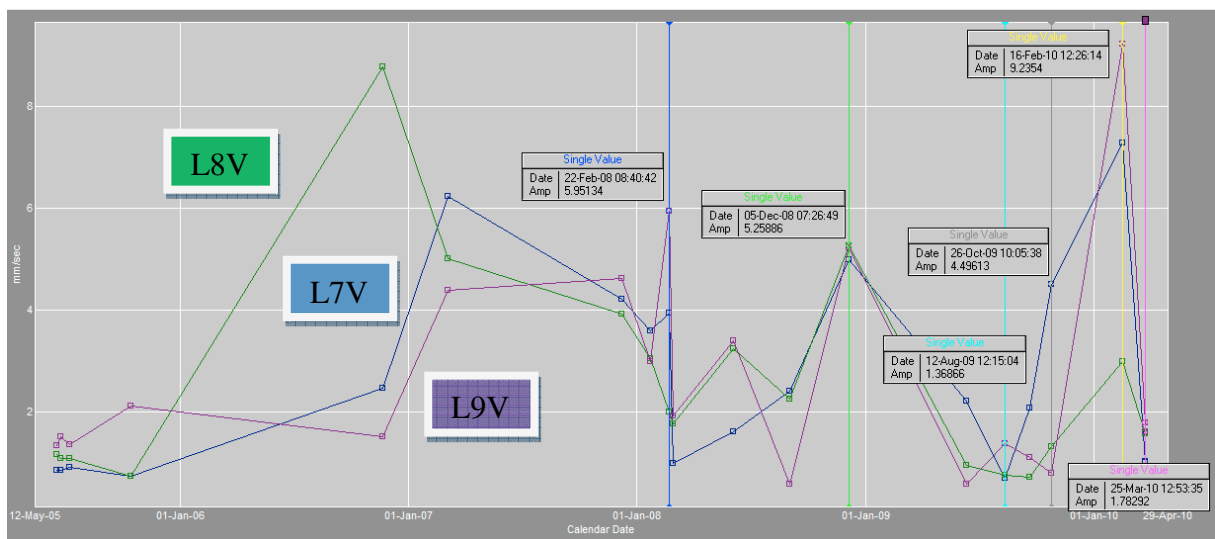
2.3.2 Trendování celkových hodnot vibrací pístového kompresoru 2512 G1/2

ID	Units	Date	Last Value	Previous Value	Percent Change	Alarm Status
2512-G1-2 Kompresor 1 G 26,5 A 28,5 S						
L1H VEL	mm/sec	25-Mar-10	3.34	3.58	-6.7	_____
L1H ACC	Gs	---	---	---	---	_____
L1H ENV	gE	---	---	---	---	_____
L1H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.04959	0.2899	-82.9	_____
L1V VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.8023	0.876	-8.4	_____
L2H VEL	mm/sec	25-Mar-10	4.098	4.321	-5.2	_____
L2H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.09537	0.2976	-67.9	_____
L2H ACC	Gs	---	---	---	---	_____
L2H ENV	gE	---	---	---	---	_____
L2V VEL	mm/sec	25-Mar-10	1.692	1.713	-1.2	_____
L2A VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.8301	0.8325	-0.3	_____
L3H VEL	mm/sec	25-Mar-10	4.071	4.301	-5.3	_____
L3H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.1335	0.4807	-72.2	_____
L3H ENV	gE	25-Mar-10	9.098	6.171	47.4	A2_____
L3H ACC	Gs	25-Mar-10	6.08	4.483	35.6	A2_____
L3V VEL	mm/sec	25-Mar-10	1.102	0.5938	85.6	_____
L3A VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.4427	0.5105	-13.3	_____
L4H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.1335	0.2823	-52.7	_____
L4H ENV	gE	25-Mar-10	0.6965	0.6928	0.5	_____
L4H ACC	Gs	25-Mar-10	4.597	3.771	21.9	A2_____
L5H VEL	mm/sec	25-Mar-10	4.097	4.248	-3.5	_____
L5H VEL převodovka	mm/sec	25-Mar-10	4.058	4.266	-4.9	_____
L5H ACC	Gs	25-Mar-10	6.474	5.384	20.2	A2_____
L5H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.0515	0.2747	-81.2	_____
L5V VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.7593	0.7812	-2.8	_____
L5A VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.5962	0.7678	-22.4	_____
L6H VEL převodovka	mm/sec	25-Mar-10	4.13	4.396	-6.1	_____
L6H ACC	Gs	25-Mar-10	6.009	7.601	-20.9	A2_____
L6H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.05531	0.2823	-80.4	_____
L7H VEL	mm/sec	25-Mar-10	4.474	4.853	-7.8	_____
L7H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.05913	0.8774	-93.3	_____
L7V VEL	mm/sec	25-Mar-10	1.03	1.006	2.4	_____
L8H VEL	mm/sec	25-Mar-10	6.284	6.605	-4.9	_____
L8H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.0515	0.2747	-81.2	_____
L8V VEL	mm/sec	25-Mar-10	1.578	1.568	0.7	_____
L9H VEL	mm/sec	25-Mar-10	6.398	6.731	-4.9	A1_____
L9H SEE	SEEs	28-Feb-08	0.05722	0.2899	-80.3	_____
L9V VEL	mm/sec	25-Mar-10	1.601	1.783	-10.2	_____
L9A VEL	mm/sec	25-Mar-10	0.9321	0.9642	-3.3	_____

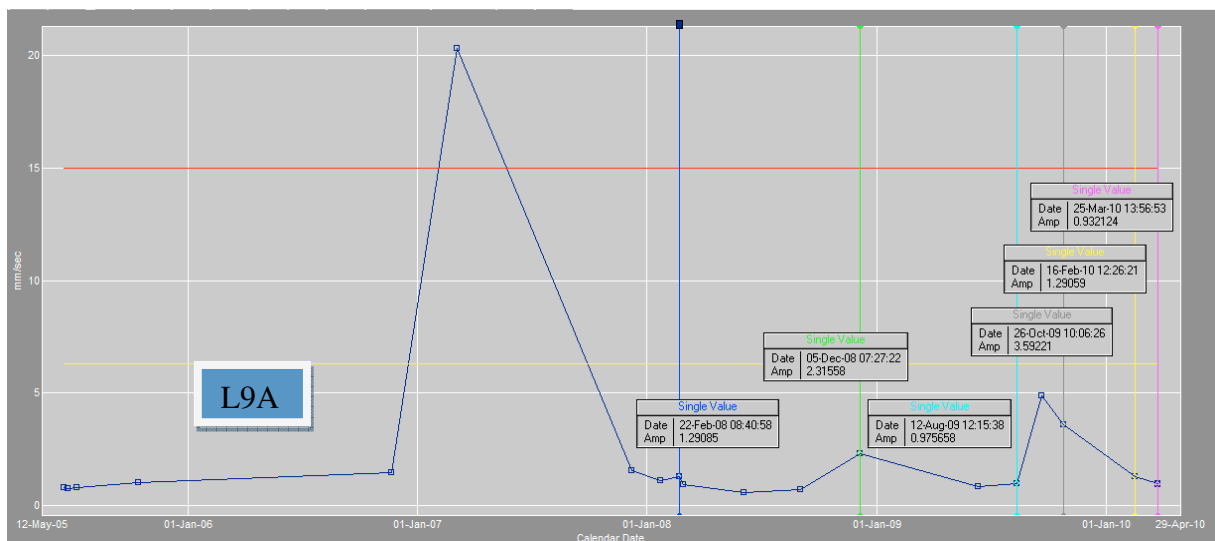
Obrázek 61 - Seznam diagnostických metod a měřicích míst na PK 2512 G1/2 [15]



Obrázek 62 - Trendování celkových hodnot vibrací kompresoru a ložiskového domečku v horizontálním směru na 7., 8. a 9. kluzném ložisku a jejich vzájemné porovnání [15]

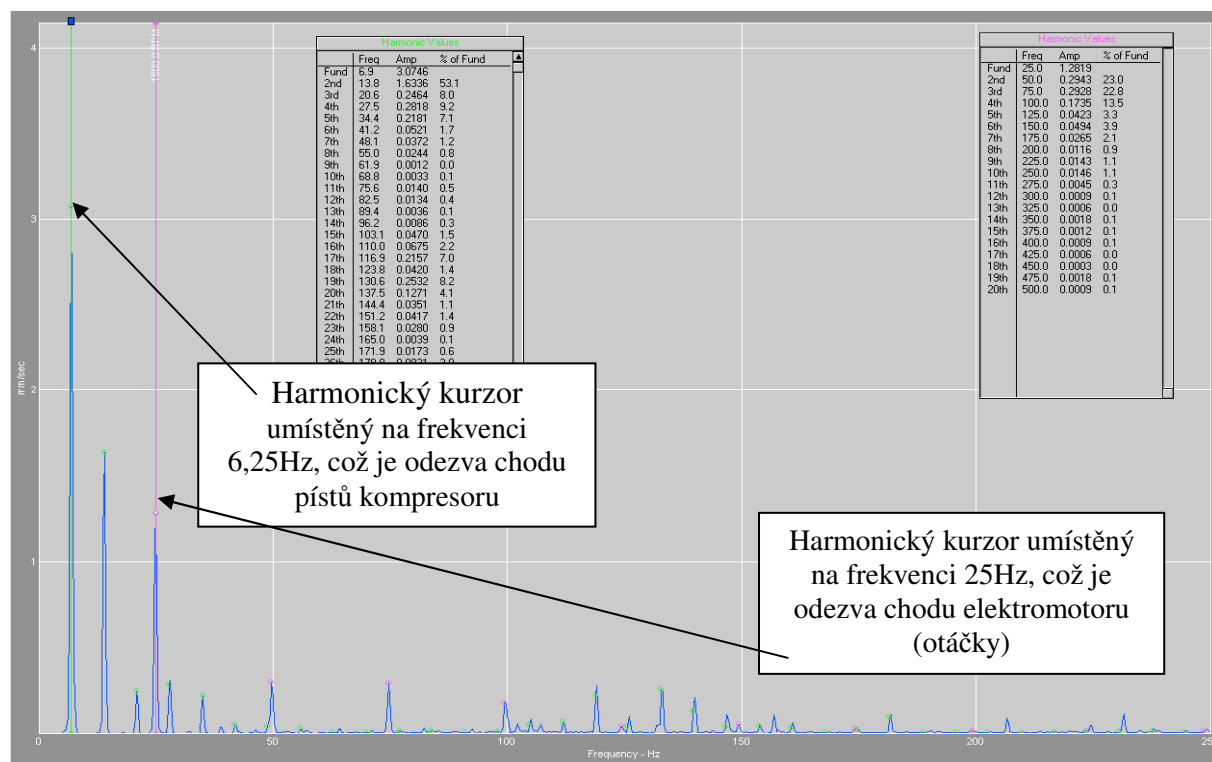


Obrázek 63 - Trendování celkových hodnot vibrací kompresoru a ložiskového domečku ve vertikálním směru na 7., 8. a 9. kluzném ložisku a jejich vzájemné porovnání [15]

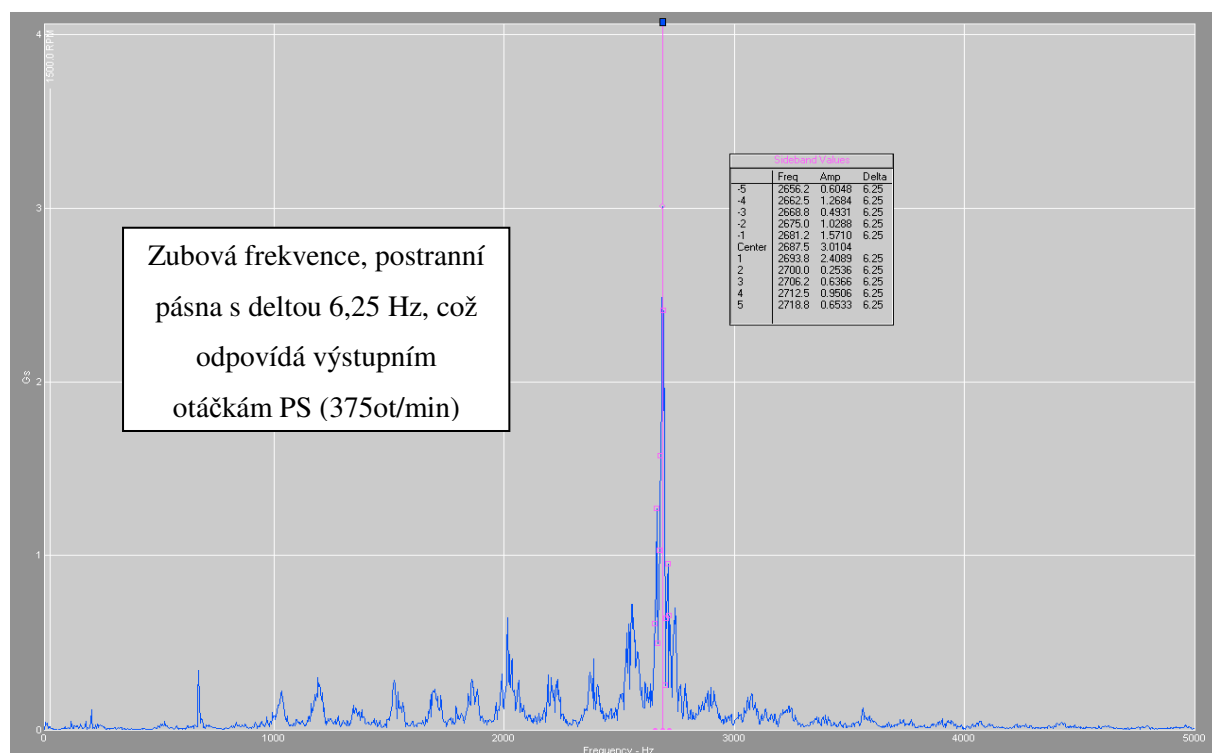


Obrázek 64 - Trendování celkových hodnot vibrací kompresoru v axiálním směru na devátém kluzném ložisku [15]

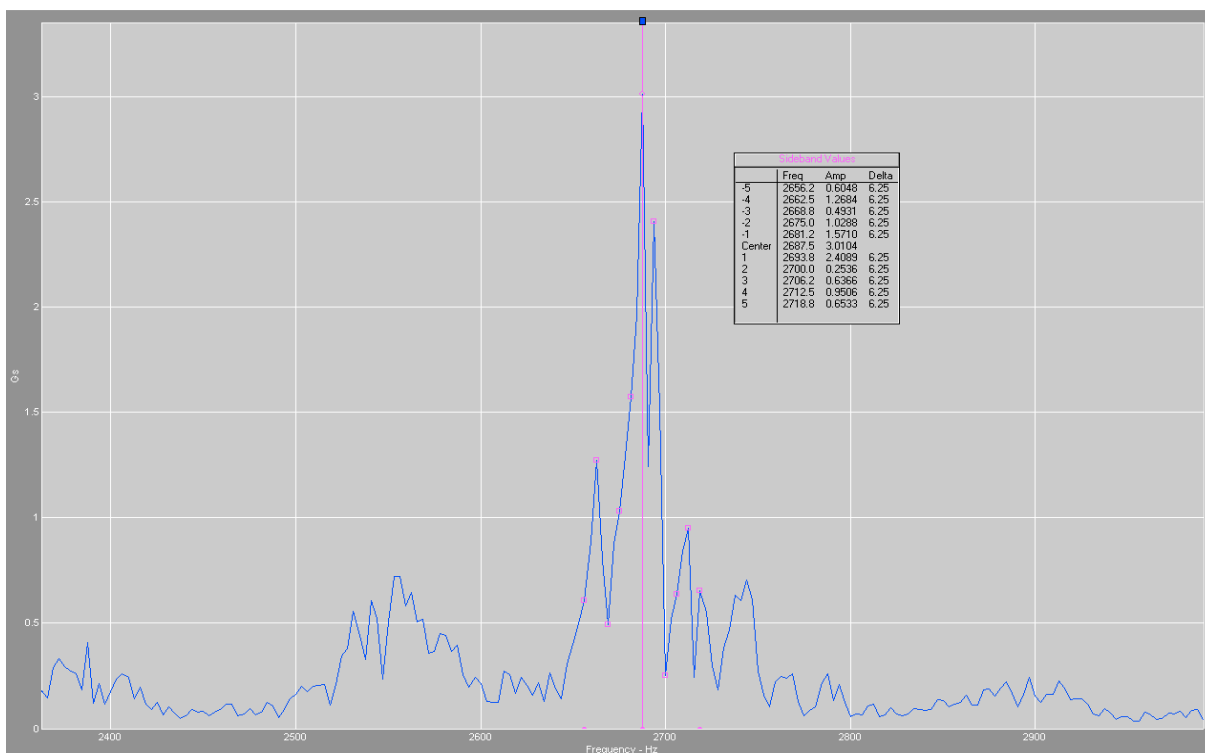
2.3.3 Spektrální analýza pístového kompresoru 2512 G1/2



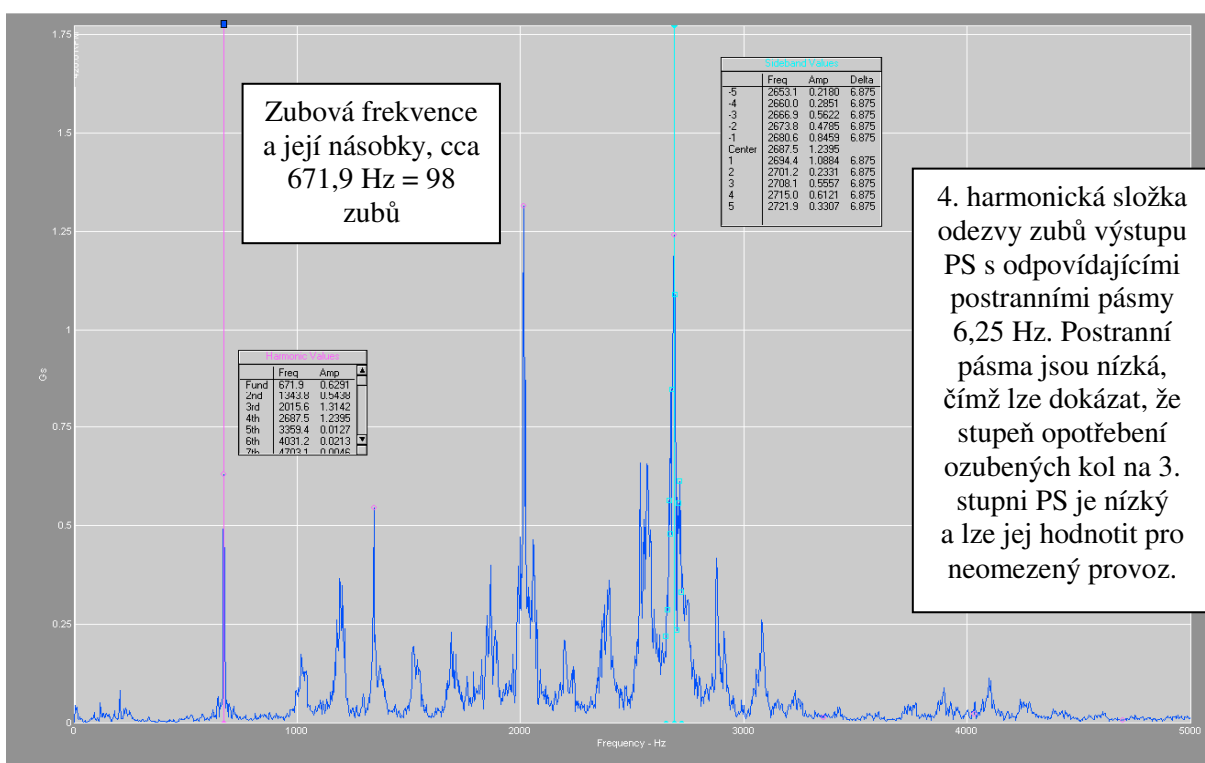
Obrázek 65 – Spektrální analýza vibrační amplitudy různých složek frekvenčního spektra měřená na druhém ložisku v horizontálním směru /L2H VEL/ pístového kompresorů 2512 G1/2



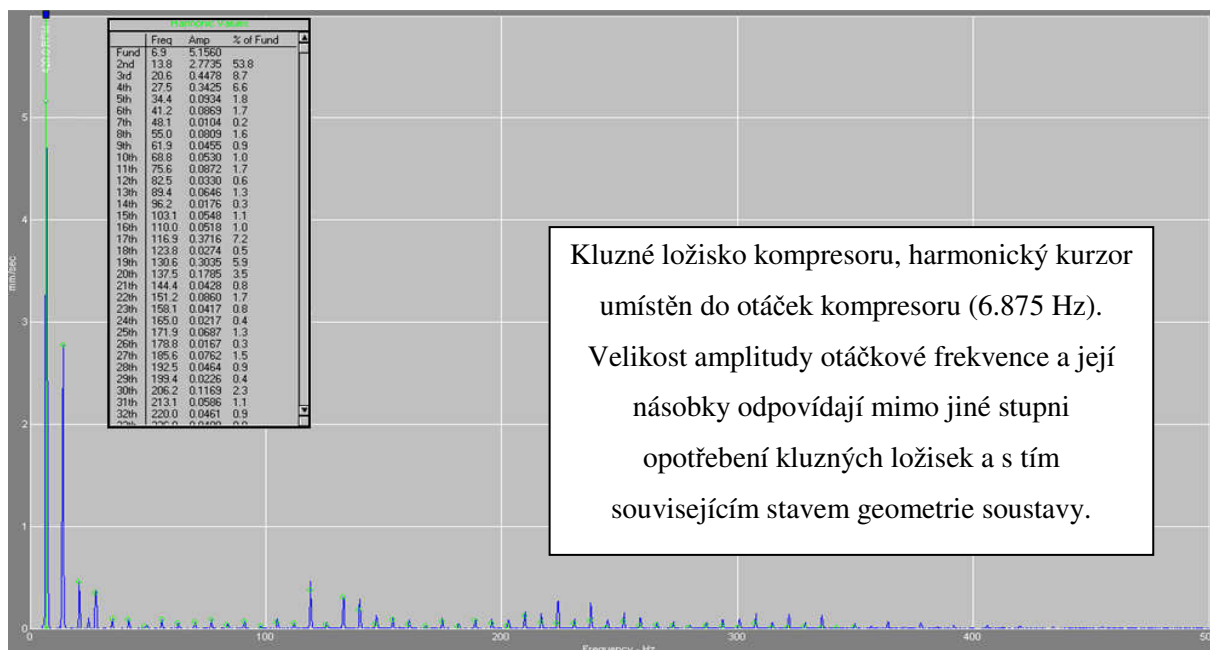
Obrázek 66 – Obálková metoda zubové frekvence výstupních otáček převodovky měřená na třetím ložisku v horizontálním směru /L3H ACC/ pístového kompresorů 2512 G1/2



Obrázek 67 – Obálková metoda zubové frekvence výstupních otáček převodovky měřená na třetím ložisku v horizontálním směru /L3H ACC/ pístového kompresorů 2512 G1/2, zoom



Obrázek 68 - Obálková metoda zubové frekvence výstupních otáček převodovky měřená na čtvrtém ložisku v horizontálním směru /L4H ACC/ pístového kompresorů 2512 G1/2



Kluzné ložisko kompresoru, harmonický kurzor
umístěn do otáček kompresoru (6.875 Hz).
Velikost amplitudy otáčkové frekvence a její
násobky odpovídají mimo jiné stupni
opotřebení kluzných ložisek a s tím
souvisejícím stavem geometrie soustavy.

Obrázek 69 - Spektrální analýza vibrační amplitudy různých složek frekvenčního spektra měřená na devátém ložisku v horizontálním směru /L9H VEL/ pístového kompresorů 2512 G1/2

2.4 OPATŘENÍ ZAVEDENÁ NA ZÁKLADĚ PROVEDENÉHO AUDITU

2.4.1 Vzorkovací místa oleje kompresoru

Olejová nádrž kompresoru

Montáž vzorkovacích míst se realizovala na základě auditu provedeného firmou CMMS, s.r.o., pro kterou pracuji. Osobně jsem se podílel na konečném návrhu i montáži. Odběr vzorků oleje se v současnosti provádí již z těchto nových odběrových míst.

Na oběhový systém za zubovým olejovým čerpadlem je namontován ventil zakončený koncovkou „MINIMES“ pro vysoký tlak, využívaný v hydraulických systémech. Odběr vzorku oleje (Obrázek 71) se provádí tak, že na koncovku „MINIMES“ se našroubuje opačný konec koncovky ukončený hadičkou, přes kterou pak vytéká olej do vzorkovací nádoby. Odběrové místo oleje je označeno tabulkou „ODBĚROVÉ MÍSTO OLEJE“ (Obrázek 70).



Obrázek 70 - Pomůcky a označení odběrového místa [14]



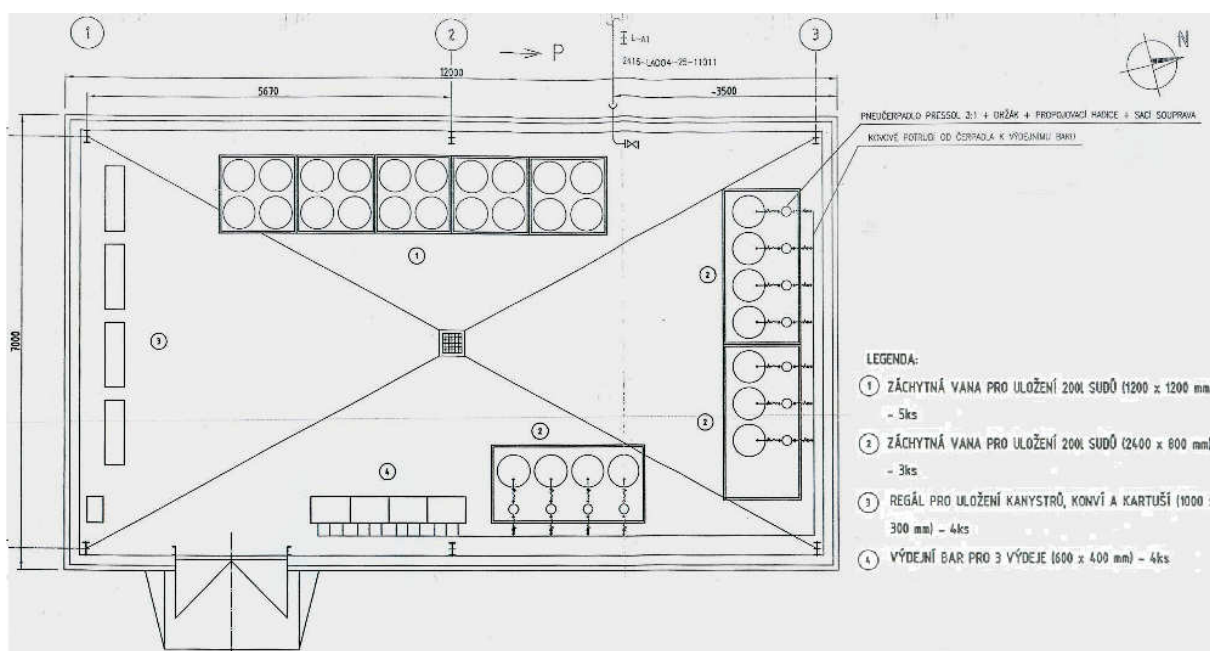
Obrázek 71 - Postup při odebrání vzorků [14]

Převodovka kompresoru

Na vypouštěcí ventil oleje z převodovky je namontován kulový ventil zakončený koncovkou „MINIMES“ pro nízký tlak, využívaný v hydraulických systémech. Odběr vzorku oleje se provádí tak, že na koncovku „MINIMES“ se našroubuje opačný konec koncovky ukončený hadičkou a vakuovou pumpičkou. Podtlakem pak vtéká olej do vzorkovací nádoby. Odběrové místo oleje je označeno tabulkou „ODBĚROVÉ MÍSTO OLEJE“ (Obrázek 70, Obrázek 71).

2.4.2 Skladování a dolévání oleje

Na základě požadavku provozovatele byly navrženy a postavené nové sklady olejů, které plně vyhovují nejlepší současné průmyslové praxi (Obrázek 72).



Obrázek 72 - Nové sklady sklad olejů [14]

Problém s doléváním oleje doporučuji odstranit použitím přenosné přečerpávací filtrační stanice (Obrázek 73), která zamezí vnikání nečistot do nádrže a ostatních částí stroje. Je důležité, aby se tato přenosná filtrační stanice, používala vždy jen pro jeden druh oleje, protože v zařízení a jeho potrubí zůstává olej z předešlého tankování a proto není vhodné používat zařízení pro více druhů olejů.

Tímto způsobem docílíme čistoty olejové nádrže, zamezení poruch stroje, snížení nákladů na opravy, snížení nákladů na filtraci a výměnu oleje.



Obrázek 73 - Přenosná přečerpávací filtrační stanice [14]

2.4.3 Čištění olejové nádrže bypassovou filtrací

Ověření problémů s nečistotami v nádrži v praxi

Provozovatel stroje, na základě vyhodnocení vzorků oleje, vyměnil všechn olej v olejové nádrži a domníval se, že bude vše v pořádku. Neuvědomil si, že výměna oleje nenahradí vyčištění olejové nádrže a olejového potrubí. Nečistoty, při vypuštění starého oleje zůstávají na dně nádrže a také v olejovém potrubí a po napuštění nového oleje, se s ním opět smísí a znovu ovlivňují jeho čistotu i výsledky při dalším hodnocení.

Na základě výsledku rozboru oleje, jsem prováděl asi jeden měsíc filtrací oleje v olejové nádrži. Filtrační stanice byla napojená na olejovou nádrž a to tak, že saní probíhalo ze dna nádrže a výtlač se vracel vrchem nádrže na opačné straně.

Po filtraci oleje v olejové nádrži kompresoru jsem zjistil, jak rozbozem oleje, tak i vzhledem, že olej změnil vzhled a to tak, že zesvětlel a stal se čirý (Obrázek 79). To znamená, že došlo k odfiltrování velkého množství nečistot z oleje, tedy i ze dna olejové nádrže a olejového potrubí. Po delším provozování stroje znovu docházelo k navyšování nečistot a hodnoty znečištění se pomalu vracely, na původní stav nečistot v olejové nádrži viz (Tabulka 11, Tabulka 12, Obrázek 80, Obrázek 81). Proto lze předpokládat, že časem mohlo dojít k určitému uvolňování neodfiltrovaných usazenin v olejové nádrži, ale především, jako největším problémem se jeví, již vzpomínaný postup neprofesionálního dolévání oleje a nevhodné dýchací potrubí.

Názorná ukázka z průběhu filtrace obdobného zařízení

Dne 13. 1. 2011 jsem na obdobném zařízení zahájil filtraci mazacího oleje pístového kompresoru. Na pístovém kompresoru byla prováděná oprava ventilů. Olej byl odčerpán z klikové skříně do 200 l sudů, celkem 1000 l. Po opravě se olej zpátky přečerpál, čerpadlem bez filtrace, do klikové skříně. Tento příklad uvádím pro lepší dokumentaci běžné praxe v podnicích, kde se často podceňují základní tribologické zásady.

Měl jsem možnost zdokumentovat poškození filtračních vložek vodou, nečistotami, vizuální vzhled oleje a jeho následný rozbor od firmy TRIFOSERVIS.

V průběhu opravy jsem provozovateli nabízel, že provedu přečerpání oleje zpět do klikové skříně za pomoci filtrační stanice, aby se eliminoval počet nečistot a vody v oleji při náběhu stroje do provozu. Moje snaha nebyla pochopena, teprve až za několik dní, po najetí stroje, jsem dostal za úkol, mazací olej kompresoru přefiltrovat. Před zahájením mé práce, filtrace oleje, jsem byl ujištěn, že údržba vnitřek klikové skříně vyčistila.

Během filtrace na uvedeném zařízení došlo k ucpání trvalých olejových filtrů kompresoru a taktéž i zničení filtrů na filtračním zařízení, kterým byla filtrace prováděna. Z níže uvedené fotodokumentace (viz Obrázek 74), si může čtenář této diplomové práce udělat úsudek sám o tom, jak probíhá v reálném životě péče o strojní zařízení.



Obrázek 74 - Ukázky z průběhu filtrace 19. 1. 2011 po šesti dnech od zahájení filtrace (Filtraci prováděl Gurský Milan)



Obrázek 75 - Ukázky z průběhu filtrace 26. 1. 2011 po sedmi dnech od předešle výměny filtračních vložek. (Filtraci prováděl Gurský Milan)



Obrázek 76 - Nová filtrační vložka



Obrázek 77 - Filtrační vložka po filtraci



Obrázek 78 - Vzorkovnice oleje z průběhu filtrace (viz Obrázek 74)

Tabulka 10 - Výsledky z průběhu filtrace, (Obrázek 78) měření provedla firma TRIFOSERVIS

Jakostní ukazatelé	1 před filtrací 13.1.	2 průběh filtrace 19.1.	3 průběh filtrace 26.1.	4 průběh filtrace 7.2.	5 průběh filtrace 10.2.	Zkušební metoda
Kinematická viskozita při 40°C	102,4	101,8	101,1	101,0	101,3	ČSN 656216
Číslo kyselosti	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	ČSN 656070
Obsah vody	796	401	92	78	59	EN ISO 12 937
ISO	21/18	20/17	18/15	17/14	16/13	ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS	12	12	10	9	8	NAS 1638 ISO 11218
Velikost nečistot						
> 5 µm	17648	6288	1921	1211	549	
> 15 µm	2269	796	240	160	71	
> 30 µm	352	124	37	25	12	

Rozbor oleje pístového kompresoru 2512 – G1/2 firmou TRIFOSERVIS



Obrázek 79 - Vlevo vzorek oleje po filtraci, vpravo vzorek oleje před filtrací pístového kompresoru 2512 – G1/2 [14]

Zpráva o rozboru

2512 – G1/2 olej před filtrací (č. 22) a po filtraci (č. 23)

Tabulka 11 - Opis protokolu

Jakostní ukazatelé	Jednotka	olej před filtrací č. 22	olej po filtraci č. 23	Zkušební metoda
Obsah vody	mg . kg ⁻¹	124	67	EN ISO 12 937
Obsah nečistot ISO		20/17	16/13	ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS		12	8	NAS 1638 ISO 11218
Velikost nečistot				
> 5 µm		5501	384	
> 15 µm		690	49	
> 30 µm		107	8	

HODNOCENÍ: OLEJ je po filtraci čistý. Doporučuji další provoz.

V Čelákovcích

Vladislav M a r e k

Zpráva o rozboru

2512-G01/2-KLIKA, MOGUL KOMPESO K 100

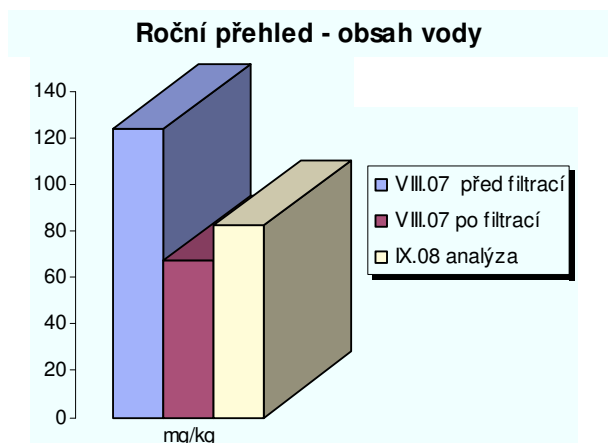
Tabulka 12 - Opis protokolu

Jakostní ukazatelé	Jednotka	Naměřená hodnota	Zkušební metoda
Kinematická viskozita / 40 ⁰ C	mm ² .s ⁻¹	90,05	ČSN 656216
Bod vzplanutí	⁰ C	188	ČSN 656212
Obsah vody	mg.kg ⁻¹	82	EN ISO 12 937
Číslo kyselosti	mgKOH.g ⁻¹	< 0,25	ČSN 656070
ISO		18/15	ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS		10	NAS 1638 ISO 11218
Velikost nečistot			
> 5 μm		1831	
> 15 μm		230	
> 30 μm		37	
Stanovení zbytků kovů			
Fe	mg.kg ⁻¹	21,1	
Cu	mg.kg ⁻¹	19,6	
Sn	mg.kg ⁻¹	5,2	
Pb	mg.kg ⁻¹	7,1	

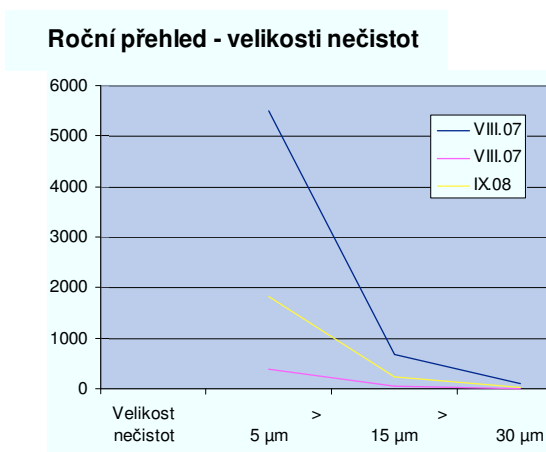
HODNOCENÍ: Dodaný vzorek oleje má snížený bod vzplanutí a mírně poklesla viskozita. Z hlediska čistoty olej pracuje v hraničním pásmu. Upozorňuji na zvýšené množství zbytkových prvků.

V Čelákovcích

Vladislav Marek



Obrázek 80 - Časové rozpětí jednoho roku pro porovnání obsahu vody (viz Tabulka 11, Tabulka 12)



Obrázek 81 - Časové rozpětí jednoho roku pro porovnání velikosti částic (viz Tabulka 11, Tabulka 12)

Pro vyčištění olejové nádrže jsem doporučil montáž adaptéru na olejovou nádrž pro bypassovou filtraci. Jedná se o jednoduché vylepšení, díky kterému lze docílit čistoty

olejové nádrže, zrychlení připojení filtrační stanice a ve vrchní části kříže adaptéru je místo pro upevnění hydroskopického dýchacího filtru.

Adaptér (Příloha 11) pro připojení filtračního zařízení je sestaven z dostupných tuzemských instalačních dílů a tím je zabezpečena jeho lehká dostupnost a materiálová nákladovost. Použitím tohoto zařízení se současně vyřeší i problémy se špatným přístupem pro montáž filtrační stanice a to nejen u tohoto konkrétního kompresoru, ale i u nejméně deseti obdobných strojů, které v současné době provozovatel vlastní.

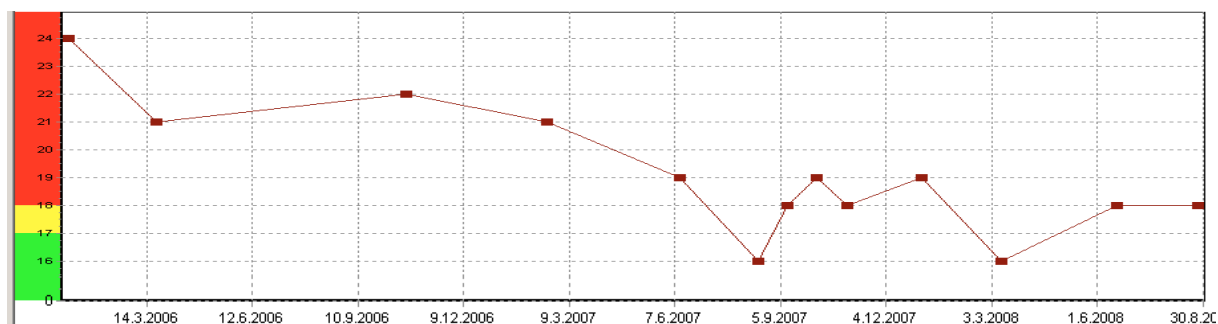
2.4.4 Dýchání olejové nádrže

Doporučil jsem použít hydroskopické dýchací filtry, které zabrání vnikání nečistot a vody do nádrže a ostatních částí stroje.

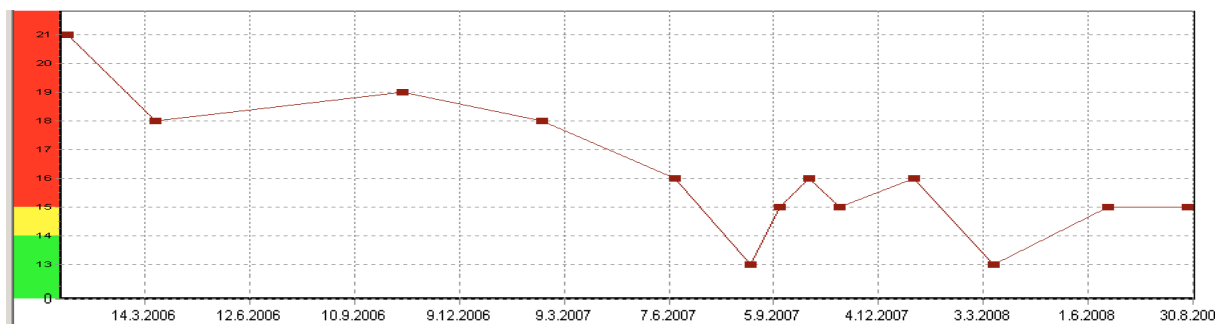
Toto řešení se výrazně projeví v čistotě olejové nádrže, zároveň dojde i k odstranění vzdušné vlhkosti z nádrže a tím k zamezení kondenzace vody v nádrži, což výrazně přispěje k snížení poruchovosti stroje a tím i nákladů na jeho opravy,

2.5 VÝSLEDKY PO ZAVEDENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

Před nástupem do zákaznické firmy, stav mazání, tribotechnických analýz a filtrace byla v značně nestabilním stavu. Po úvodním auditu stavu bylo doporučeno řada opatření, které provozovatel postupně realizuje. V této práci jsem se soustředil na největší problém znečištění, který významně zkracuje životnost strojů. S ostatními sledovanými tribotechnickými parametry (viskozita, kyselost, bod vzplanutí, aditiva) během posledních let byly problémy jen výjimečně. Kontrola znečištění pevnými částicemi a vodou, bylo určeno jako klíčový kořenový parametr prodloužení životnosti. Pro demonstraci zlepšení stavu bylo vybráno několik strojů, pro ukázkou, že zlepšení nastalo v celém podniku, ne jen u jednoho stroje. Změna znečištění oleje a jeho vliv na prodloužení životnosti stroje po zavedení navržených řešení viz Obrázek 82, Obrázek 83, Příloha 16; Příloha 17



Obrázek 82 - ISO 5 μm , změna znečištění oleje 2516-G01/2 [14]



Obrázek 83 - ISO 15 μm , změna znečištění oleje 2516-G01/2 [14]

Průběhy kódu čistoty (ISO 4406/87) na stroji 2516-G01/2 ukazují klesající trend. Velké poklesy na 16/13 jsou vždy po filtraci. Další zásahy byly: vyčistění a přetěsnění nádrže a oprava dýchacího filtru. Dle tabulky pro prodloužení životnosti na základě snížení nečistot olejů je faktor prodloužení životnosti = 5x.

Uvedené prodloužení životnosti vychází z hodnocení dle metody prodloužení životnosti na základě snížení množství nečistot v mazacím oleji daných strojů. Když je běžná životnost stroje např. 10 let, tak při filtraci oleje a následném dvounásobném prodloužení životnosti stroje, bude stroj pracovat až 20 let. Při faktoru prodloužení 5 je to např. až 50 let. Každé prodloužení životnosti stroje šetří náklady, jak na údržbu stroje, tak i na investice do nového vybavení, které nahrazuje starý stroj a taky nezanedbatelné náklady na likvidaci opotřebovaných strojů a součástí.

3 NÁVRH METODIKY ÚDRŽBY

V tomto oddíle diplomové práce bude navržena metodika preventivní, prediktivní a proaktivní údržby na základě analýz provedených v předcházející části.

3.1 OBSLUHA KOMPRESORU BĚHEM PROVOZU

Mimo automatické kontroly pomocí poplachových, případně blokovacích přístrojů se odečítají následující hodnoty:

- ✚ tlak a teplota plynu
- ✚ tlak a teplota oleje
- ✚ příkon hlavního motoru
- ✚ vstupní a výstupní teplota chladicí vody

Tyto hodnoty zapisovat do formulářů operativní evidence.

3.1.1 Všeobecná obsluha kompresoru

- ✚ Prvá olejová náplň v nádrži tlakové mazání se vymění po 300 hodin provozu, druhá za 1000 - 1500 provozních hodin. Dále dle mazacího plánu. Nejméně však 1x /rok. Kal a voda se čas od času odpustí.
- ✚ Je nutné periodicky pročišťovat tlakový olejový filtr případně náplň filtru.
- ✚ Pojišťovací ventily všech stupňů kompresorů kontrolovat každý měsíc nadlehčením kuželky.
- ✚ Trubkový prostor chladičů profukovat 2x týdně podle harmonogramu, v létě, při vyšších teplotách, podle potřeby.
- ✚ Vestavěné kuželové síto na sacím hrdle kompresoru čistit dle potřeby a sledovat množství nečistot. V případě, že nasávaný plyn bude mít dostatečnou čistotu možno síto demontovat.
- ✚ Manometry mají být kontrolovány v přiměřených časových intervalech srovnáním s kontrolním manometrem. Manometry s větší chybou než 10% musí být nahrazeny novými.

3.1.2 Běžná denní obsluha kompresoru

- ✚ Obsluha provádí pravidelnou kontrolu, doplňování a výměnu olejů a mazadel točivých strojů a součástí podle mazacího plánu.
- ✚ Obsluha provádí pravidelnou kontrolu pojišťovacích ventilů.

- ✚ Obsluha sleduje chod zařízení pravidelnými pochůzkami, přičemž věnuje pozornost chodu točivých strojů (chlazení ložisek a ucpávek, hlučnost chodu, chvění) netěsnostem na zařízení, činnosti přístrojů MaR a odváděčů kondenzátu. Všechny zjištěné závady, pokud nejdou přímo odstranit, hlásí ihned směnovému manažerovi.
- ✚ Při provozu nutno pravidelně čistit sítko instalovaná v sání čerpadel a to zejména při najíždění po delší zarážce a při vzrůstu tlakové ztráty na sítku (zajišťuje asistent směnového manažera).
- ✚ Obsluha kontroluje technologický režim na zařízení podle údajů místních přístrojů MaR a zaznamenává jejich údaje do tiskopisů. Vzájemně se informuje o dodržování předepsaných technologických parametrů s obsluhou velínu. Závady hlásí SM.
- ✚ Obsluha odebírá pravidelně vzorky z určených vzorkovacích míst a přináší je do laboratoře. Při vzorkování dodržuje zásady bezpečné práce - použití dálkového nebo izolačního dýchacího přístroje.
- ✚ Obsluha kompresorů pečuje rovněž o odkalování kondenzátu ze všech plynových a odplynovacích potrubí, které mají svody do monžíku M1 (viz Poznámka 4).
- ✚ Svody se kontrolují dle potřeby. Krátce se otevře příslušný ventil na vstupu do monžíku M1 (viz Poznámka 4) a kapalina z potrubí se vpustí do monžíku (konec proudění kapaliny a začátek proudění plynu se rozezná sluchem anebo podle stavoznaku na M1).
- ✚ Pak se přívodní ventil uzavře. Stejná manipulace se provede s dalšími vstupy. Při naplnění monžíku M1 (viz Poznámka 4) kapalinou se vstupy uzavřou a obsah monžíku se přetlačí dusíkem do nádrže 2512 T1.
- ✚ V pravidelných intervalech (1x za hodinu) se odpouští shromážděný kondenzát z odlučovače Z3.
- ✚ Ložiska je třeba kontrolovat alespoň 4x za směnu na teplotu buď snímačem teploty, nebo rukou. Teplota ložiska čepů klikového hřídele může být kontrolována na místech vystřikovaného oleje na krytu proti příslušnému ložisku.
- ✚ Normální teplota je mezi 45-55° C, to zn., že můžeme ponechat delší čas na těchto plochách ruku.
- ✚ Přetlak oleje mazání hnacího ústrojí (klikového mechanismu) je normálně 0.15-0.35 MPa u zahřátého stroje. Při chladném oleji může tlak stoupnout až na 0.5 MPa.
- ✚ Mazání válců a ucpávek centrálním mazáním se kontroluje během chodu. Čerpání je kontrolovatelné na kapkovém ukazateli. Kontrolu mazacího lisu provedeme pootevřením odvzdušňovacího šroubku na zpětném ventilu jednotlivých čerpacích elementů. Klesá-li stav oleje v průhledítkách k minimální hladině, je nutné doplnit olej na předepsanou výši.

- ✚ Obsluha pravidelně 1x za směnu kontroluje stav druhých ucpávkových komor, odpouští nashromážděný olej a sleduje jeho množství. Kontroluje funkčnost proplachu komor dusíkem.
- ✚ Výpusti kondenzátů na nádržích tlumičů sání a výtlaku na chladičích a odlučovačích otevírat pravidelně podle nutnosti (přibližně 1x za hod).
- ✚ Vypouštěcí ventily se otevírají pomalu a hned se zavírají, až pokles tlaku se na příslušném manometru ustálí. Na kompresoru 2512 G1 se otevírají v pořadí 1-2.
- ✚ Voda procházející chladiči za jednotlivými stupni má mít teplotu na vstupu 25° C a na výstupu 35° C.
- ✚ Chlazení mazacího oleje pro klikový mechanismus se otevírá, teprve když teplota oleje stoupne nad 35° C.
- ✚ Při chladnějším období je nutno zapnout el. přitápění oleje a olej předeheřt na 20° C.

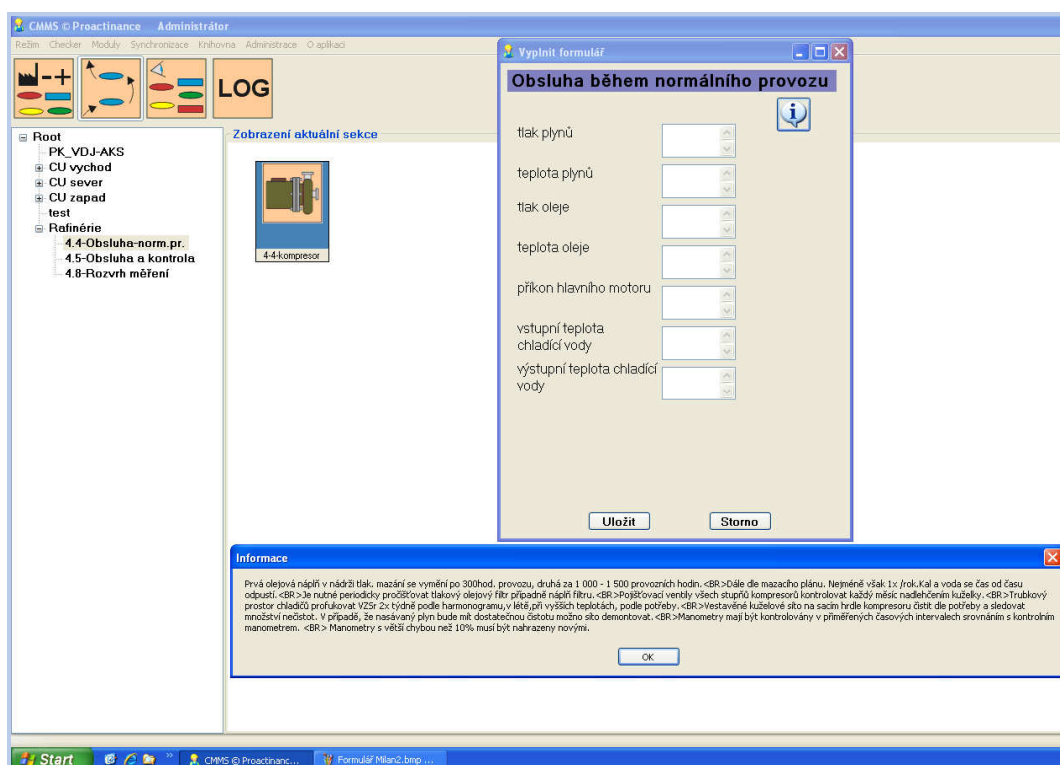
Poznámka 4) Monžík je jednoduché zařízení na čerpání agresivních kapalin. Tvoří ho nádoba, potrubí a rozváděcí zařízení. Rozváděcí zařízení, například plovákové, ovládá přítok kapaliny do nádoby, odkud se kapalina vytlačí do potrubí tlakovým vzduchem. Nasávání kapaliny se uskutečňuje vytvořením podtlaku v monžíku.

KOMPRESOR JE NUTNÉ ODSTAVIT VŽDY KDYŽ:

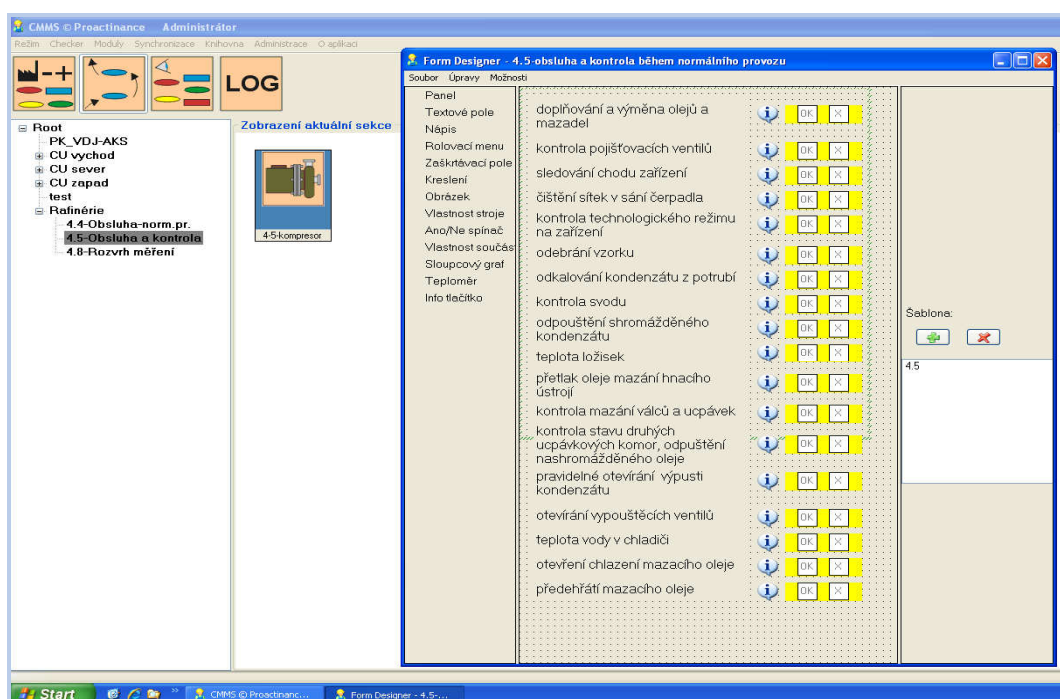
- a) Ložiska nebo ucpávka se přehřívají, tj. když během provozu vykazuje zvýšení teploty větší než 20° C proti normálu nastavené teploty.
- b) Překročení tlaku vede k trvalému silnému odfuku pojišťovacích ventilů.
- c) Vyskytuje se silné klepání nebo cizí zvuky u kompresoru, převodovky nebo elektromotoru.
- d) Vyskytuje se nerovnoměrnost tlaku a teploty stlačeného plynu.
- e) Úniku plynu při netěsnosti.
- f) Nízký tlak na sání (pokud nereaguje automatická blokace od nízkého tlaku na sání).
- g) Zvýšení tlaku na některém stupni (podchází ventil následujícího stupně).
- h) Příliš vysoká teplota za chladičem výtlaku - zanesený chladič.
- i) Zvýšená teplota oleje v kompresoru, nebo převodovce.
- j) Náhle zvýšený příkon (proud na ampérmetru) neodpovídající změně v dodávaném množství.
- k) Zvýšené chvění stroje.
- l) Pokles tlaku mazacího oleje pod 0.1 MPa.
- m) Dojde k přerušení dodávky chladicí vody (snížení průtoku).

3.2 NÁVRH INSPEKČNÍCH FORMULÁŘŮ A POSTUPŮ

Vyplňování formulářů je jednoduché a nevyžaduje podrobný popis. Okénka formuláře se vyplní údaji dle předlohy.



Obrázek 84 – Formulář pro evidenci během normálního provozu



Obrázek 85 - Návrh úplných inspekčních formulářů kompresoru pro provozní pracovníky

Obrázek 86 - Návrh inspekčních formulářů kompresoru pro provozní pracovníky

Obrázek 87 - Návrh inspekčních formulářů kompresoru pro mazače

ÚDRŽBA – Výpis formulářů během prováděné kontroly

Denně <ul style="list-style-type: none"> - Kontrola hladiny oleje - Odpuštění kondenzátu ze zásobníku a odlučovačů - Kontrola na neobvyklý hluk a vibrace - Odpojení napájení po ukončení denního provozu 	Měsíčně <ul style="list-style-type: none"> - Kontrola vzduchového systému na úniky - Kontrola znečištění oleje
Týdenně <ul style="list-style-type: none"> - Kontrola a vyčištění vzduchového filtru - Vyčištění kompresoru a motoru - Kontrola řemenů pohonu - Manuální kontrola bezpečnostního ventilu 	Každé 3 měsíce <ul style="list-style-type: none"> - Výměna oleje - Inspekce ventilů

3.3 ROZVRH MĚŘENÍ A KONTROLY PROVOZU

3.3.1 Údaje sledované obsluhou na zařízení (místní měření)

- ✚ Teploty a tlaky na sání kompresorů.
- ✚ Teploty a tlaky na výtlaku kompresorů.
- ✚ U vícestupňových kompresorů i teploty a tlaky mezi jednotlivými stupni.
- ✚ Teploty media a chladicí vody před a za chladiči a odlučovači jednotlivých stupňů.
- ✚ Teploty, tlaky a hladiny v odlučovačích.
- ✚ Hladiny olejů.
- ✚ Tlaky v sání a výtlaku čerpadel.
- ✚ Údaje sledovat minimálně 1x za dvě hodiny.

3.3.2 Protokoly o provedených kontrolách

2512 G02 Kompresor cirkulačního plynu - Turbokompresor Krasynth										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2512 G02 Kompresor cirkulačního plynu - Turbokompresor Krasynth										
Datum			Zeit/Čas	Venkovní obchůzka operátora - záznam místně měřených parametrů stroje						
podleži turbokompresoru panel (TBK)	očkávané hodnoty	odečtené hodnoty 26.8.2008	odečet	podleži turbokompresoru místně (TBK)	očkávané hodnoty	odečtené hodnoty 26.8.2008	odečet	základní podleži	očkávané hodnoty	odečtené hodnoty 26.8.2008
proud motoru (A)	190	170		T (°C) vzduchu z el.motoru, místní	50	53		T (°C) mazací olej, tank, místní	40	50
T (°C) výtlak TBK	85	panel/ručn í 110/83		P (kp/cm ² , (bar)) sání TBK tlak	18	19		T (°C) ucpávkový olej, tank, místní	50	58
P (kp/cm ² , (bar)) výtlak TBK tlak	26	26,5		P (kp/cm ² , (bar)) výtlak TBK tlak	26	26,6		H hladina mazací olej v rozsahu min/max	1 / 2	ok
T (°C) mazací olej	45	panel/ručn í 38/49		T (°C) opávkového oleje výstupní, u volný konec,	50	odpad, ruční m. 82		H hladina ucpávkový olej v rozsahu min/max	2 / 2	ok
T (°C) ucpávkový olej	45	panel/ručn í 34/85		T (°C) opávkového oleje výstupní, u spojky, místní	50	odpad, ruční m. 85		P (kp/cm ² , (bar)), za filtrem, olej, tlak	3,5	3,5
T (°C) převodovky olej	60	odpad, ruční m. 48		T (°C) ložiska, volný konec, místní	60	odpad, ruční m. 58		P (kp/cm ² , (bar)), před filtrem, olej, tlak	3,9	3,7
P (kp/cm ² , (bar)) mazací olej tlak	3,4	3,6		F (Nm ² /h) průtok N ₂ do ucpávk.systému	13 / 13	13/13		P (kp/cm ² , (bar)), diference na filtru, tlak	0,5	0,8
P (kp/cm ² , (bar)) ucpávkový olej tlak	18	19		P (kPa) mazací olej do převodovky tlak	380	380		P (kp/cm ² , (bar)) najížděcí čerpadlo, olej,	3,5	-
T (°C) panel převod./lož.výtl. / lož.sání		50/48/49		P (kPa) mazací olej do ložiska, u spojky, tlak	230	210		P (kp/cm ² , (bar)) hlavní čerpadlo, olej, tlak	3,5	4,9
				P (kPa) mazací olej do ložiska, volný konec, tlak	200	190				

Obrázek 88 - Vzor protokolu o provedené kontrole [15]

3.3.3 Odběry vzorků

- ✚ Vzorky odebírá obsluha do připravených, předepsaných, čistých a řádně označených nádob (balony, tlakové lahve) při pečlivém dodržování bezpečnostních předpisů.
- ✚ Před odebráním vzorku se musí krátce plyny odfoukat do atmosféry.
- ✚ Obsluha vzorky odnáší do laboratoře.
- ✚ Při vzorkování vodíku je nutno postupovat opatrně vzhledem k tomu, že se vodík při expanzi ohřívá.
- ✚ Vzhledem k obsahu oxidu uhelnatého ve vzorkovaném plynu musí obsluha použít při odfukování a vzorkování dálkový dýchací přístroj, nebo dýchací izolační přístroj (při bezvětrání).
- ✚ Odběry vzorků jsou dány harmonogramem odběru vzorků.

3.3.4 Odběry olejových vzorků

Obsluha odebírá vzorky oleje jenom z jedoucích kompresorů 1x za 3 měsíce a odevzdá je tribotechnikovi.

Tabulka 13 - Doporučená četnost odběrů vzorků oleje [4]

Stroj/typ zařízení	Hodiny/údobí
Převodovka	500
Ložiska – čep a valivé prvky	500 nebo měsíčně

3.3.5 Předepsané oleje pro kompresory

2512 G1/1,2; 2513 G1/1,2; 2514 G1/1,2; 2515 G1/1,2; 2516 G1/1,2; 2516 G2

- Olej pro klikový mechanismus: Mogul Kompreso K 100 (tlakové oběhové mazání).
- Olej mazací pro válec: Mogul K-18 (ztrátové mazání).
- Olej pro převodovou skříň: Mogul TRANS 90H.
- Pevné mazivo pro elektromotor: Mogul LV 2-3 nebo Shell ALVANIA RL3.
- Výměna olejových náplní se provádí v rámci SO kompresorů a na základě počtu provozních hodin.

3.3.6 Chladicí kapalina

Pro chlazení válců se používá nemrznoucí směs Fridex s bodem tuhnutí -35°C.

Je zakázáno doplňovat chladicí kapalinu vodou.

Úbytek se musí doplňovat kapalinou předepsané koncentrace, resp. bodu tuhnutí.

4 VYHODNOCENÍ PŘÍNOSU NAVRŽENÉ METODIKY

4.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1.1 Havárie kompresoru

Kořenovou příčinou havárie kompresoru (viz Obrázek 40; Obrázek 41) bylo nedodržení výměnného intervalu oleje a nedostatečná tribotechnická analýza a jeho implementace do mazací praxe. [14] (viz 1.5.6 Havárie stroje způsobená nevhodným mazáním).

Odhadnuté náklady na opravu kompresoru po havárii:

montážní firma (Německo)	cca	350 000,-CZK
náklady na práci	cca	100 000,-CZK
použité náhradní díly	cca	1 000 000,-CZK
<u>Náklady na opravu celkem</u>	cca	1 450 000,-CZK

4.1.2 Náklady spojené s údržbou kompresoru

Kompresor - náhradní díly

Ojniční ložisko	1 ks	209 000 Kč
Klikové ložisko hlavní (L8, u setrvačnicku)	1 ks	142 370 Kč
Klikové ložisko (L7, L9)	1 ks cca 185 000 Kč	2 ks 370 000 Kč
Ventily sací	1 ks cca 20 000 Kč	2 ks 40 000 Kč
Ventily výtlační	1 ks cca 20 000 Kč	2 ks 40 000 Kč

Oprava kompresorů

Běžná oprava kompresoru po 20 000 hod. (Přeměří se, výměna ucpávky a opotřebených komponentů)	(cca)	300 000 Kč
Středná oprava kompresoru po 30 000 hod. (Přeměří se, výměna ucpávky a opotřebených komponentů)	(cca)	527 000 Kč

Kompresor - náklady na rozbor a výměnu oleje

Cena práce	8 300 Kč
Kompresorový olej (150 litrů, cca 55 Kč)	8 250 Kč
Rozbor oleje (3x ročně, cca 1500 Kč)	4 500 Kč

Interval výměny oleje 18 až 26 měsíců, dle rozboru, nebo po 12 000 až 14 000 hodinách. Olej v ložiskovém domku (L7) se mění při výměně oleje v olejové nádrži. Rozbor oleje v ložiskovém domku, se neprovádí.

Převodovka

Převodovka /nová/ 1 ks (cca) 650 000 Kč

Převodovka - náklady na rozbor a výměnu oleje

Cena práce 3 000 Kč

Převodový olej (30 litrů, á 50 Kč) 1 500 Kč

Rozbor oleje (2x ročně, á 1500 Kč) 3 000 Kč

Interval výměny oleje je 24 až 36 měsíců, dle rozboru, nebo po 16 000 hodinách až 20 000 hodinách.

Elektromotor - mazání

Cena práce 100 Kč

Plastické mazivo Shell Alvania RL3 200 Kč

Interval mazání po 4000 hodinách nebo 1x ročně.

4.1.3 Náklady na navržená opatření

		Náklady v CZK [Kč]	
		v prvním roce	za 10 let
Roční náklady na filtraci oleje	1 x ročně	7 000,-	70 000,-
Instalace odběrového místa oleje	jednorázový náklad	4 500,-	4 500,-
Instalace a nákup dýchacího filtru – nádrž mazacího oleje	jednorázový náklad	1 500,-	1 500,-
Instalace a nákup dýchacího filtru – kliková skříň kompresoru	jednorázový náklad	1 500,-	1 500,-
Rozbor oleje – nádrž mazacího oleje	3 x ročně	1 500,-	4500,-
Instalace a nákup dýchacího filtru – převodovka kompresoru	jednorázový náklad	1 500,-	1 500,-
Rozbor oleje – převodovka kompresoru	2 x ročně	1 500,-	3000,-
Výměna dýchacích filtrů (1 výměna á 500,-CZK)	3 x ročně	1 500,-	15 000,-
Montáž adaptéru pro filtraci oleje	jednorázový náklad	5 000,-	5 000,-
Celkové náklady za 10 let			<u>106 500,-</u>

4.1.4 Odhadnutý ekonomický přínos na jeden kompresor za 10 let

Náklady na další možnou havárii kompresoru, která je velmi pravděpodobná bez zavedení výše navržených opatření cca **1 450 000,- CZK** (viz 4.1.1 Havárie stroje způsobená nevhodným mazáním).






Náklady na navržená opatření, která dokážou zabránit uvedené havárii kompresoru cca **106 500,- CZK** (viz 4.1.2 Náklady na navržená opatření)

Odhadnutý ekonomický přínos na jeden kompresor za 10 let

$$1\,450\,000 - 106\,500 = \underline{\underline{1\,343\,500,- CZK}}$$

4.1.5 Odhadnutý celkový ekonomický přínos

Nezávislé průzkumy a dlouholeté zkušenosti odborníků firmy CMMS s.r.o., kteří úspěšně zavádějí tyto moderní metody do praxe podniků, ukazují, že správně fungující program prediktivní údržby zajistí:

-  snížení materiálových nákladů na 40% až 30%
-  snížení nákladů na údržbu o 25% až 30%
-  snížení počtu poruch o 70% až 75%
-  snížení prostojů o 35% až 45%
-  zvýšení výroby o 20% až 25%

Návratnost investice je 10 násobná. Jedinou nevýhodou jsou vysoké prvotní náklady.

5 ZÁVĚR

Pístové kompresory jsou z hlediska prediktivní údržby velmi komplikované stroje. Vibrační diagnostika se dá pro určení závad (kromě elektromotoru, převodovky a ložisek) využívat omezeně. Pro diagnostiku samotného kompresoru je nutno používat velmi komplexní metody a expertízu. Tyto metody a znalosti mohou poskytnout pouze vysoce specializované firmy.

Pro spolehlivý provoz pístového kompresoru musíme využívat především metody preventivní a proaktivní údržby. Preventivní inspekční obchůzky, dle navržené metodiky a inspekčních formulářů, mazací a měřicí obchůzky, jsou základem spolehlivého chodu kompresoru. Proaktivní přístupy zahrnují především ustavení soustrojí a péče o olejové náplně. Jedná se o volbu vhodného oleje, tribotechnické analýzy, filtraci a výměny oleje, dle skutečného stavu.

Na závěr práce chci shrnout navržená řešení a jejich přínos pro majitele a provozovatele kompresoru 2512 G1/2. Níže uvedené úkony byly navrženy a částečně realizovány v rámci mého zaměstnání u firmy CMMS, s.r.o.

V PRŮBĚHU TÉTO PRÁCE BYLY PROVEDENY TYTO ÚKONY:

- ✚ Audit mazání stroje.
- ✚ Návrh a realizace nových způsobů skladování a dolévání maziv.
- ✚ Vyčištění olejových nádrží a výměna nevyhovujících olejových náplní.
- ✚ Návrh a realizace projektu nových skladů olejů.
- ✚ Návrh a montáž adaptéru pro připojení filtračního zařízení a dýchacího filtru na olejovou nádrž.
- ✚ Návrh a montáž dýchacího filtru na každou část strojního zařízení pro zamezení znečištění nádrží, tj. na olejovou nádrž, blok kompresoru (klikovou skříň), ztrátové mazání a převodovku.
- ✚ Návrh dolévání oleje pomocí přenosné, upravené, přečerpávací, filtrační stanice.
- ✚ Návrh osazení elektromotoru automatickými nebo mechanickými maznicemi, pro plynulé domazávání ložisek elektromotoru a včetně návrhu vyhovujícího maziva.
- ✚ Návrh a realizace nového způsobu vzorkování olejů.
- ✚ Návrh a montáž nových odběrových míst olejů.
- ✚ Návrh a realizace bypassové filtrace nečistot a vody v nádržích na základě výsledků tribotechnických analýz.

- ✚ Zavedení pravidelné tribotechnické analýzy olejů a změny mazací praxe včetně filtrací na základě výsledků jejich rozborů.
- ✚ Návrh a zavedení archivace dat, trendování a analýzu výsledků pomocí software CMVOilManager firmy CMMS, s.r.o.
- ✚ Návrh systému inspekcí a mazání pomocí software CMMSPROACTINANCE včetně inspekčních a mazacích formulářů.

PŘÍNOS NAVRŽENÝCH A ZAVEDENÝCH OPATŘENÍ

Bylo docíleno výrazného snížení obsahu mechanických nečistot a vody v nádržích. Byly vyměněny nevyhovující, zoxidované náplně. Realizovanými opatřeními došlo k očekávanému zvýšení životnosti stroje 2 až 5 krát. Dalším přínosem zavedení navržených opatření je zvýšení životnosti olejových náplní, prodloužení střední doby mezi poruchami a snížení nákladů na údržbu.

V této práci je uveden příklad havárie kompresoru, ke které došlo před zavedením výše navržených opatření. Hlavní, kořenovou příčinou této havárie bylo nedodržení výměnného intervalu oleje, nedostatečná tribotechnická analýza a nevhodné praktiky při mazání tohoto stroje. Náklady na opravu kompresoru se pohybovaly kolem 1,5 miliónu Kč (viz 4.1.1 Havárie stroje způsobená nevhodným mazáním). Celkové 10leté náklady, na v současnosti navržená opatření, které by zabránily této havárii, se pohybují kolem sto tisíc Kč, což je necelých 10% z nákladů na opravu po havárii kompresoru. Odhadnutý ekonomický přínos na jeden kompresor za 10 let je 1 343 500,- Kč.

Celkový ekonomický přínos, dle nezávislých průzkumů, mých osobních zkušeností i zkušeností mých kolegů, odborníků firmy CMMS s.r.o., při zavádění těchto nových moderních metod do praxe podniků, se projeví především poklesem materiálových nákladů na 40% až 30%, snížením nákladů na údržbu o 25% až 30%, značným úbytkem počtu poruch o 70% až 75% a prostojů o 35% až 45%. Což způsobí, že se produkce zvýší o 20% až 25%.

Cíle, které jsem si stanovil v úvodu mé práce, jsem splnil a jsem spokojen, že se jejich pozitivní vliv začíná projevovat i v praxi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Des-Case Corporation. Des-Case Corporation » Disposable Desiccant Breathers [online]. c2007 [cit. 2008-07-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.des-case.com/disposable-desiccant-breathers/>>.
- [2] Ekolube s.r.o. Oleje.cz - Kompresorový Olej K 8 (1 l, nalévavý) [online]. c2005 [cit. 2008-07-22]. Dostupný z WWW: <http://www.oleje.cz/eshop/show_prod.php?id=298>.
- [3] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost Díl I. Tribodiagnostika*. Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2004. 158 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [4] MAREK, Vladislav. *Příprava zaměstnanců firmy CMMS na certifikaci – Tribodiagnostika : Školící materiál firmy TRIFOSERVIS Čelákovice*. Praha, 2003.
- [5] MAREK, V., HELEBRANT, F., HRABEC, L. Tribotechnika velkých točivých strojů. In *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA z1/2006, ročník XV. 25. mezinárodní konference DIAGO® 2006*. ATD ČR Zlín + VŠB-TU Ostrava. Zlín, leden 2006. s.187-190. ISSN 1210-311-X. (+CD)
- [6] Paramo, a.s. *EShop Paramo - katalog produktů* [online]. c2008 , 10.5.2008 [cit. 2008-07-22]. Dostupný z WWW: <<http://eshop.paramo.cz/produkty/Katalog.aspx>>.
- [7] Radek Kučera & daughter . *Tribologie - ABZ.cz: slovník cizích slov* [online]. 2005-2006 [cit. 2008-08-05]. Dostupný z WWW: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/tribologie>>.
- [8] ŠAFR, Emil. *Technika mazání*. 2. vyd. Praha: SNTL-nakladatelství technické literatury, 1970. 384 s. ISBN 04-010-70.
- [9] ŠTĚPINA, Václav, VESELÝ, Václav. *Maziva v tribologii*. 1. vyd. Bratislava: Veda, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1985. 408 s. ISBN 71-059-85.
- [10] VALENT, Ondrej. *Seminář analýzy olejů a proaktivní údržby: Školící materiál firmy CMMS s.r.o.* Praha, 2004.
- [11] SKF, *Hlavní katalog*. Praha: Copyright SKF, 1994. 976 s.
- [12] SKF Československo a.s. *Selhání ložisek a jejich příčiny*. SKF Repro 1 9208. SKF Československo a.s., Praha: SKF Československo a.s., cca 1992. 50 s.
- [13] SKF Condition Monitoring. *Průvodce vibrační diagnostikou I.* CM5003-CZ. SKF Ložiska a.s.: DIF s.r.o., 1994. 66 s. Copyright © 1994 SKF Condition Monitoring, Inc. All Rights Reserved.
- [14] GURSKÝ, Milan. *Tribotechnická diagnostika pístového kompresoru*. Ostrava, 2008. 76s. Bakalářská práce. VŠB, TU Ostrava, FS. Vedoucí práce Ing. Ladislav Hrabec, PhD.
- [15] Firemní literatura firmy CMMS, s.r.o., Praha.
- [16] KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z., *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006, 237 s., ISBN 80-86851-38-9

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - úvodní strana [14]
Příloha 2 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 1 [14]
Příloha 3 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 2 [14]
Příloha 4 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 3 [14]
Příloha 5 - Schéma sestavy kompresoru 2512 G1/2 – půdorys [14]
Příloha 6 - Průřez kompresoru 2512 G1/2 – půdorys [14]
Příloha 7 - Průřez kompresoru 2512 G1/2 – bokorys [14]
Příloha 8 - Opotřebované komponenty kompresoru část 1. [15]
Příloha 9 - Opotřebované komponenty kompresoru část 2. [15]
Příloha 10 - Opotřebované komponenty kompresoru část 3. [15]
Příloha 11 - Schéma adaptéru pro připojení filtračního zařízení [14]
Příloha 12 - Základní tribologická výbava [15]
Příloha 13 - Samočinná maznice [15]
Příloha 14 - Trendování celkových hodnot vibrací elektromotoru – část 1. [15]
Příloha 15 - Trendování celkových hodnot vibrací elektromotoru – část 2. [15]
Příloha 16 - Průběhy kódu čistoty (ISO 4406/87) – část 1. [15]
Příloha 17 - Průběhy kódu čistoty (ISO 4406/87) – část 2. [15]

*Příloha 1 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - úvodní strana [14]
Příloha 2 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 1 [14]
Příloha 3 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 2 [14]
Příloha 4 - Popis kompresoru 2512 G1/2 - strana 3 [14]
Příloha 5 - Schéma sestavy kompresoru 2512 G1/2 – půdorys [14]
Příloha 6 - Průřez kompresoru 2512 G1/2 – půdorys [14]
Příloha 7 - Průřez kompresoru 2512 G1/2 – bokorys [14]
Příloha 8 - Opotřebované komponenty kompresoru část 1. [15]
Příloha 9 - Opotřebované komponenty kompresoru část 2. [15]
Příloha 10 - Opotřebované komponenty kompresoru část 3. [15]
Příloha 11 - Schéma adaptéru pro připojení filtračního zařízení [14]
Příloha 12 - Základní tribologická výbava [15]
Příloha 13 - Samočinná maznice – popis [15]
Příloha 14 - Trendování celkových hodnot vibrací elektromotoru – část 1. [15]
Příloha 15 - Trendování celkových hodnot vibrací elektromotoru – část 2. [15]
Příloha 16 - Průběhy kódu čistoty (ISO 4406/87) – část 1. [15]
Příloha 17 - Průběhy kódu čistoty (ISO 4406/87) – část 2. [15]*